



TUGAS AKHIR – TL091584

**PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL (Ni) TERHADAP  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Fe-  
Cr-Ni MELALUI METODE PENGECORAN**

Ainun Zulfikar  
NRP 2711 100 073

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan , S.T., M.Eng

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015





FINAL PROJECT – TL091584

**EFFECTS OF NICKEL (Ni) ADDITION ON HARDNESS  
AND MICROSTRUCTURE Fe-Cr-Ni ALLOY THROUGH  
CASTING METHOD**

Ainun Zulfikar  
NRP 2711 100 073

**ADVISOR**

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan , S.T., M.Eng

Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015



**PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL (Ni) TERHADAP  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN Fe-Cr-  
Ni MELALUI METODE PENGECORAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**AINUN ZULFIKAR**  
NRP 2711100073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.....(Pembimbing 2)



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **Pengaruh Penambahan Nikel (Ni) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni Melalui Metode Pengecoran**

**Nama** : Ainun Zulfikar  
**NRP** : 2711100073  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Dr. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan

## **Abstrak**

Paduan Fe-Cr-Ni adalah paduan logam yang dapat berupa baja tahan karat, paduan super, dan besi tuang putih. Besi tuang putih digunakan sebagai material abrasif karena memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Kromium berfungsi sebagai penambah kekerasan dengan membentuk karbida. Nikel sebagai unsur yang menaikkan ketahanan impak. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan nikel pada paduan Fe-Cr-Ni untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekerasan dan strukturmikro paduan . Penambahan nikel dilakukan dengan komposisi 6, 8, 10 dan 12%wt Ni. Pemaduan dilakukan dalam tungku bakar menggunakan krusibel grafit. Peleburan dilakukan hingga temperatur  $\pm 1800^{\circ}\text{C}$ , ditahan  $\pm 40$  menit. Pendinginan dilakukan didalam tungku bakar hingga temperature kamar. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan (metode brinell), *optical emission spectrometry* (OES), XRD, dan metalografi. Hasil OES kadar karbon pada paduan meningkat karena penggunaan krusibel grafit. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya fasa austenite  $\gamma\text{FeNi}$  dan  $\text{FeCrNi}$  berkrystal FCC serta karbida krom. Penambahan nikel meningkatkan kekerasan karena memperkecil ukuran butir pada struktur mikro. Pengamatan metalografi menunjukkan terbentuknya austenite dan karbida krom.

**Kata kunci** : Fe-Cr-Ni, Nikel,  $\gamma\text{FeNi}$ , Chromium Carbides

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **Effects of Nickel (Ni) Addition On Hardness and Microstructure Fe-Cr-Ni Alloy Through Casting Method.**

**Name** : Ainun Zulfikar  
**NRP** : 2711100073  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Dr. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Dr. Agung Purniawan

### **Abstract**

*Fe-Cr-Ni is metal alloy that can become stainless steel, superalloy (nickel base) and high alloy white cast iron. White cast iron is used as an abrasive material because of its hardness and wear resistance. Chromium is added to increase hardness in the form of chromium carbides. Nickel, as the balancing element of chromium, is used to increase impact strength. In this research, nickel was added with varying composition of 6, 8, 10, and 12% wt Ni. The alloying process occurred in the burner bring graphite crucible. The alloying temperature was  $\pm 1800^{\circ}\text{C}$ , and held about 40 minutes. The specimens was cooled in the burner until the room temperature. Characterized being conducted in this research were OES, XRD, hardness test, and metallographic test. The result of OES, carbon content increased significantly because of graphite crucible was used during melting process. XRD result showed the presence of austenite phase and chromium carbides ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ). Microstructure of the alloy is chromium carbides with austenitic matrix. Nickel addition was responsible for smaller grain size formed which increase the hardness number. Hardness number also depends of amounts, size and orientation of chromium carbides*

**Keywords** : Fe-Cr-Ni, Nikel,  $\gamma\text{FeNi}$ , Chromium Carbides

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul *“Pengaruh Penambahan Nikel (Ni) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni Melalui Metode Pengecoran”*

Terima kasih kepada semua pihak yang berperan pada penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, yang selalu mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya serta selalu senantiasa menguatkan “pundak” penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Bapak, Ibu kedua orang tua penulis, serta Ninin Nonot Nena adik-adik penulis yang selalu mendoakan dan memberi semangat selama ini
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc dan Dr. Agung Purniawan , S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis.
4. Pak Toto, Pak Chanan, Pak Tari, Mas Ridho, Pak Marsono selaku mentor selama perjalanan penelitian Tugas Akhir
5. Seluruh “dulur” MT 13 yang selalu saling menguatkan dalam usaha dan doa untuk kesuksesan.
6. Sanipius Simanjuntak, M Khairurreza, Mas Maul, Mas Lingga, Mbak Sari, Mbak Ima, Mas Fahri yang selaku penghuni setia laboratorium Inovatif
7. Mbak RiaMT08, Mas KukuhMT09, Mbak Iis, untuk bantuannya penulis.
8. Teman teman “Brandcap” yang selalu mererefresh penulis dari kepenatan

9. Keluarga kecil HUBLU HMMT 12-13, Hublu Unyu 13-14 yang selalu punya keceriaan buat penulis
10. Seluruh Mas, Mbak, Adik “MATRICE” Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi
11. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, dibalik itu terdapat niat tulus untuk berbagi pengetahuan bagi sesama. Penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....     | i    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> ..... | v    |
| <b>ABSTRAK</b> .....           | vii  |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....    | xi   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....        | v    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....     | xvii |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....      | xix  |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                               | 1  |
| 1.1 Latar Belakang .....                                     | 1  |
| 1.2 Perumusan Masalah.....                                   | 2  |
| 1.3 Batasan Masalah.....                                     | 2  |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                                   | 2  |
| 1.5 Manfaat penelitian .....                                 | 3  |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                         | 5  |
| 2.1 Nikel (Ni) .....                                         | 5  |
| 2.2 Kromium (Cr).....                                        | 7  |
| 2.3 Mangan (Mn).....                                         | 8  |
| 2.4 Baja ( <i>Steel</i> ) .....                              | 9  |
| 2.5 Pengaruh Unsur Paduan ( <i>Alloying Effect</i> ).....    | 10 |
| 2.6 Diagram <i>Equilibrium</i> Fe-Fe <sub>3</sub> C.....     | 11 |
| 2.7 Diagram Fasa.....                                        | 13 |
| 2.8 AISI 1006 .....                                          | 14 |
| 2.9 Baja Tahan Karat ( <i>Stainless Steel</i> ) .....        | 15 |
| 2.10 <i>Stainless steel</i> 302 .....                        | 17 |
| 2.11 Pengaruh Unsur Paduan pada <i>Stainless steel</i> ..... | 18 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.12 Besi Tuang Putih .....                                            | 20 |
| 2.13 <i>High Alloy White Cast Iron (HAWCI)</i> .....                   | 21 |
| 2.14 <i>Nikel Chromium White Irons</i> .....                           | 24 |
| 2.15 Pengaruh Unsur Paduan pada Besi Tuang Putih .....                 | 27 |
| 2.16 Pengecoran .....                                                  | 29 |
| 2.16.1 Pola .....                                                      | 30 |
| 2.16.2 Cetakan .....                                                   | 31 |
| 2.16.3 Cetakan Pasir .....                                             | 33 |
| 2.16.4 Toleransi Penyusutan.....                                       | 35 |
| 2.16.5 Pemeriksaan Coran .....                                         | 36 |
| 2.16.6 <i>Finishing</i> dan <i>defect</i> dalam Proses Pengecoran..... | 38 |
| BAB III METODOLOGI .....                                               | 41 |
| 3.1 Diagram Alir.....                                                  | 41 |
| 3.2 Metode Penelitian .....                                            | 42 |
| 3.3 Material.....                                                      | 43 |
| 3.4 Alat .....                                                         | 44 |
| 3.5 Prosedur Percobaan .....                                           | 46 |
| 3.6 Proses Pengujian.....                                              | 46 |
| 3.6.1 Pengujian OES.....                                               | 46 |
| 3.6.2 Pengujian Metalografi .....                                      | 47 |
| 3.6.3 Pengujian Kekerasan .....                                        | 47 |
| 3.6.4 Pengujian XRD.....                                               | 48 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                      | 49 |
| 4.1 Paduan Fe-Cr-Ni.....                                               | 49 |

|                                                |                  |
|------------------------------------------------|------------------|
| 4.2 Komposisi Kimia Paduan Fe-Cr-Ni .....      | 49               |
| 4.3 Pengujian Kekerasan .....                  | 51               |
| 4.4 Pengamatan Hasil XRD paduan Fe-Cr-Ni ..... | 54               |
| 4.5 Pengamatan Struktur Mikro Coran.....       | 55               |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>        | <b>61</b>        |
| 5.1 Kesimpulan.....                            | 61               |
| 5.2 Saran.....                                 | 61               |
| <br><b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                | <br><b>xxiii</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                          | <b>xxv</b>       |
| <b>BIODATA PENULIS .....</b>                   | <b>xxviii</b>    |

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                                                |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Nikel Murni .....                                                                                              | 6  |
| Gambar 2.2  | Diagram Fasa Besi-Besi Karbida.....                                                                            | 12 |
| Gambar 2.3  | Diagram Fasa Fe-18Cr-8Ni.....                                                                                  | 13 |
| Gambar 2.4  | Ternary Diagram Fe-Cr-Ni.....                                                                                  | 14 |
| Gambar 2.5  | Produk Paduan Al-Si .....                                                                                      | 18 |
| Gambar 2.6  | <i>High Chromium White Cast Iron</i> Dengan Matriks Austenitik Perbesaran 500x.....                            | 23 |
| Gambar 2.7  | <i>High Chromium White Cast Iron</i> Dengan Matriks Austenitik-Martensitik Perbesaran 500x .....               | 23 |
| Gambar 2.8  | <i>High Chromium White Cast Iron</i> Dengan Kadar Karbon (a) Hipoeutektik (b) Eutektik (c) Hipereutektik ..... | 24 |
| Gambar 2.9  | Tipikal Mikrostruktur Besi Tuang Putih Nikel-Kromium Kelas I Tipe D Perbesaran 340x....                        | 25 |
| Gambar 2.10 | Tipikal Mikrostruktur Besi Tuang Putih Nikel-Kromium Kelas I Tipe A Perbesaran 340x....                        | 26 |
| Gambar 3.1  | Diagram Alir Penelitian.....                                                                                   | 41 |
| Gambar 3.2  | Skema Tungku Burner .....                                                                                      | 44 |
| Gambar 3.3  | Nikel .....                                                                                                    | 42 |
| Gambar 4.1  | Paduan Fe-Cr-Ni dengan Penambahan (a) 6 (b) 8 (c) 10 (d) 12 % Ni .....                                         | 23 |
| Gambar 4.2  | Hasil Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni .....                                                                    | 55 |
| Gambar 4.3  | Hasil Pengujian XRD Paduan Fe-Cr-Ni .....                                                                      | 56 |
| Gambar 4.4  | Struktur mikro Paduan Fe-18Cr-6Ni Perbesaran (a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 kali .....                         | 58 |
| Gambar 4.5  | Struktur mikro Paduan Fe-Cr-Ni dengan 2.35% C, 18.23% Cr, 0.35% Ni Perbesaran 50x.....                         | 42 |
| Gambar 4.6  | Struktur mikro Paduan Fe-18Cr-8Ni Perbesaran (a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 kali.....                          | 60 |
| Gambar 4.7  | Struktur mikro Paduan Fe-18Cr-10Ni Perbesaran (a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 kali.....                         | 61 |

|            |                                                                                                   |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.8 | Struktur mikro Paduan Fe-18Cr-12Ni Perbesaran<br>(a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 kali.....         | 61 |
| Gambar 4.9 | Struktur mikro <i>High Chromium White Cast Iron</i><br>dengan 4.17% C, 19.40% Cr, Perbesaran 100x | 42 |

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                                  |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1  | Sifat Fisik Nikel.....                                                           | 6  |
| Tabel 2.2  | <i>Mechanical Properties</i> Nikel.....                                          | 15 |
| Tabel 2.3  | Sifat Fisik Chromium.....                                                        | 16 |
| Tabel 2.4  | Sifat Fisik Mangan.....                                                          | 17 |
| Tabel 2.5  | Komposisi Kimia dan <i>Mechanical Properties</i><br>AISI 1006 .....              | 18 |
| Tabel 2.6  | Penamaan <i>Stainless Steel</i> .....                                            | 19 |
| Tabel 2.7  | Komposisi Kimia dan <i>Mechanical Properties</i><br>AISI 302 .....               | 20 |
| Tabel 2.8  | Komposisi Kimia dan <i>Mechanical Properties</i><br><i>White Cast Iron</i> ..... | 21 |
| Tabel 2.9  | Komposisi Kimia <i>High Alloy White Cast Iron</i><br>ASTM A532 .....             | 22 |
| Tabel 2.10 | Temperature Penuangan untuk Berbagai Coran<br>.....                              | 23 |
| Tabel 2.11 | Toleransi Penyusutan untuk Logam Cor yang<br>Penting.....                        | 34 |
| Tabel 4.1  | Hasil Pengujian Komposisi (OES) .....                                            | 53 |
| Tabel 4.2  | Komposisi Perhitungan Bahan Lebur .....                                          | 55 |
| Tabel 4.3  | Komposisi Hasil Lebur .....                                                      | 56 |
| Tabel 4.4  | Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni .....                                            | 58 |

***(halaman ini sengaja dikosongkan)***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu masalah yang sering terjadi dalam pemilihan material adalah memilih kombinasi material yang tepat. Kombinasi material dalam paduan yang tepat harus melihat spesifikasi pada penggunaan material tersebut. Hal itu membuat pemilihan unsur paduan sangat penting. Pemilihan unsur didasari oleh pengetahuan tentang unsur yang tersedia dan pengaruh unsur tersebut dalam paduan.. Keputusan pemilihan material juga dapat dipengaruhi oleh kasus dengan paduan logam yang dapat dibentuk atau dibuat menjadi komponen yang berguna (Callister, 1940).

Logam dapat dikelompokkan dalam dua jenis yaitu logam ferrous dan non-ferrous. Ferrous material merupakan material yang berbasis besi. Non-ferrous material adalah material logam yang basis utamanya bukan besi, namun logam lainnya (Avner, 1974).

Ferrous metal diproduksi dalam jumlah besar. Jumlah tersebut lebih besar dari semua jenis metal lainnya. Hal tersebut karena ferrous material banyak aplikasinya. Aplikasi ferrous material banyak digunakan dibidang engineering meliputi konstruksi, komponen mesin, dan keperluan umum. (Callister, 1940). Paduan Fe-Cr-Ni merupakan paduan yang banyak digunakan dalam bidang engineering. Paduan Fe-Cr-Ni memiliki berbagai jenis. Fe-Cr-Ni masing-masing memiliki aplikasi tergantung oleh jenis, chemical properties dan mechanical properties. Jenis paduan Fe-Cr-Ni ada tiga yaitu Superalloy (nikel base), stainless steel (Cr minimal 10% wt) dan high chromium white cast iron (\_\_, ASM Metals Handbook, Vol 02 Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, 1990).

Kromium merupakan material dasar yang digunakan dalam banyak paduan. Kromium banyak digunakan dalam



paduan yang memiliki spesifikasi khusus. Kromium digunakan pada stainless steel sebagai paduan yang meningkatkan kemampuan ketahanan korosi. Kromium digunakan pada high-strength alloy steel sebagai unsur yang meningkatkan kekuatan. Kromium digunakan pada wear resistant material karena dapat membentuk karbida krom yang sangat keras (Brady G. S., 2002).

Nikel merupakan logam yang sudah dipadukan dengan berbagai logam lainnya. Nikel dapat menjadi base logam menjadi paduan super. Nikel dapat dipadukan dengan metal ferrous maupun non-ferrous. Nikel akan meningkatkan sifat ketahanan korosi, ketangguhan, dan ketahanan termal yang baik (Davis J. R., 1996).

### **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan Ni terhadap kekerasan paduan Fe-Cr-Ni?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Ni terhadap struktur mikro paduan Fe-Cr-Ni?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh dari lingkungan sekitar diabaikan
2. Unsur pengotor *impurities* dibawah 2% diabaikan
3. Paduan Fe-Cr-Ni dianggap homogen

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh penambahan Ni terhadap kekerasan paduan Fe-Cr-Ni
2. Menganalisa pengaruh penambahan Ni terhadap struktur mikropaduan Fe-Cr-Ni



### **1.5 Manfaat penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui lebih lanjut tentang proses manufaktur pemaduan paduan Fe-Cr-Ni. Serta dapat menjadi bahan literatur untuk pengembangan manufaktur paduan Fe-Cr-Ni berikutnya.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nikel (Ni)

Nikel adalah unsur dengan dengan nomor atom 28 serta memiliki lambang Ni. Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dari nikel. Tabel 2.2 menunjukkan sifat mekanik dari logam nikel. Nikel merupakan unsur yang termasuk dalam logam transisi, berbentuk padat (*solid*) saat temperatur kamar.

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Nikel (Ni) (Callister, 1940)

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Struktur Kristal                 | FCC     |
| Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> ) | 8.90    |
| Massa Atom                       | 28      |
| Nomor Atom                       | 58.69   |
| Titik Lebur                      | 1455 °C |
| Kekerasan (Mohs)                 | 4.0     |

**Tabel 2.2** *Mechanical Properties* Nikel

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| <i>Tensile strength</i> | 317 MPa       |
| <i>Hardness</i>         | 64 HV, 35 HRB |
| <i>Modulus Young</i>    | 207 GPa       |
| <i>Modulus of shear</i> | 76 GPa        |

Nikel adalah logam berwarna perak pertama kali di temukan sekitar tahun 1751 namun digunakan dalam paduan sejak jaman dahulu kala. Nikel memiliki ketahanan korosi pada atmosfer yang tinggi. Nikel juga tahan pada sebagian besar asam. Bahkan nikel tahan terhadap serangan asam yang mengoksidasi nikel seperti asam nitrit. *Ore* nikel merupakan nikel sulfida dan oksida nikel. Nikel dihunakan dalam beberapa pembuatan paduan yang populer. Nikel digunakan dalam *stainless steel*, *alloy steel*, dan logam *non- ferrous*. (Brady G. S., 2002)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nikel (Ni)

Nikel adalah unsur dengan dengan nomor atom 28 serta memiliki lambang Ni. Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dari nikel. Tabel 2.2 menunjukkan sifat mekanik dari logam nikel. Nikel merupakan unsur yang termasuk dalam logam transisi, berbentuk padat (*solid*) saat temperatur kamar.

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Nikel (Ni) (Callister, 1940)

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Struktur Kristal                 | FCC     |
| Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> ) | 8.90    |
| Massa Atom                       | 28      |
| Nomor Atom                       | 58.69   |
| Titik Lebur                      | 1455 °C |
| Kekerasan (Mohs)                 | 4.0     |

**Tabel 2.2** *Mechanical Properties* Nikel

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| <i>Tensile strength</i> | 317 MPa       |
| <i>Hardness</i>         | 64 HV, 35 HRB |
| <i>Modulus Young</i>    | 207 GPa       |
| <i>Modulus of shear</i> | 76 GPa        |

Nikel adalah logam berwarna perak pertama kali di temukan sekitar tahun 1751 namun digunakan dalam paduan sejak jaman dahulu kala. Nikel memiliki ketahanan korosi pada atmosfer yang tinggi. Nikel juga tahan pada sebagian besar asam. Bahkan nikel tahan terhadap serangan asam yang mengoksidasi nikel seperti asam nitrit. *Ore* nikel merupakan nikel sulfida dan oksida nikel. Nikel di hunakan dalam beberapa pembuatan paduan yang populer. Nikel digunakan dalam *stainless steel*, *alloy steel*, dan logam *non- ferrous*. (Brady G. S., 2002)



**Gambar 2.1** Nikel Murni

Nikel adalah logam yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan tahan terhadap serangan asam. Nikel banyak digunakan pada pemaduan *stainless steel*, baja nikel dan logam *non-ferrous* serta *electroplating*. Nikel dikomersilkan dengan berbagai bentuk, yaitu ferronikel dan nikel 99%. Nikel juga digunakan pada material elektronik, material *aerospace*, *chemical processing equipment*, dan *food processing equipment*. Nikel pada material elektronik digunakan sebagai anoda, katoda dan *current collector*. (Schwartz, 2002)

Nikel-cadmium dan nikel-metalhidrida adalah material baterai. Selanjutnya nikel merupakan kandidat elemen yang akan digunakan sebagai *electric powdered vechicles*, hal ini karena nikel memiliki densitas energi dua kali lebih banyak dibanding asam timbal . Baterai nikel juga dapat mengisi 60% energi dengan waktu *recharge* hanya 15 menit. (Brady G. S., 2002)

Nikel juga merupakan material umum yang digunakan sebagai *coating materials*. Biasanya diaplikasikan pada material logam lainnya dan sebagian plastic. Pada pengaplikasiannya, digunakan dengan cara *electroplating* (Brady G. S., 2002)

Nikel adalah unsur penstabil yang kuat. Paduan nikel dan kromium digunakan dalam paduan *stainless steel* tipe 300. *Stainless steel* ini merupakan *stainless steel* austenitik yang



non-magnetik. Nikel pada paduan ini berperan sebagai penahan korosi namun fungsi utamanya adalah pembentuk dan penstabil austenit. (Schwartz, 2002)

## 2.2 Kromium (Cr)

Kromium adalah unsur dengan nomor atom 24 serta memiliki lambing Cr. Kromium merupakan salah satu unsur penting dalam pembuatan baja tahan karat. Tabel 2.3 menjelaskan beberapa sifat fisik kromium. Kromium membentuk lapisan oksida kromium yang melindungi baja jika dipadukan dengan kadar tidak kurang dari 10.5%Cr (Avner, 1974).

**Tabel 2.3** Sifat Fisik Kromium (Cr) (Callister, 1940)

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Struktur Kristal                 | BCC     |
| Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> ) | 7.19    |
| Massa Atom                       | 52      |
| Nomor Atom                       | 24      |
| Titik Lebur                      | 1875 °C |
| Kekerasan (Mohs)                 | 8.5     |

Kromium adalah logam paduan dasar yang digunakan dalam berbagai macam jenis paduan. Kromium banyak digunakan pada *stainless steel*, paduan temperature tinggi, *high strength alloy steels*, *electrical resistance alloys*, *wear resistance* dan *decorative materials*. (Brady G. S., 2002).

Kromium tersedia di alam dalam bentuk senyawa. *Ore* yang paling utama adalah cromite. Cromite dapat diolah dengan mereduksi secara elektrolisis. *Chromium* dipasarkan dalam bentuk logam dengan campuran ataupun dalam bentuk murni. Dalam bentuk murni mengandung 99.25% kromium dengan maksimal 0.4% besi dan 0.15% silikon (Brady G. S., 2002).

Aplikasi dalam paduan ada *alphanized steel* yang merupakan *chromized steel*, adalah steel yang dilapisi



kromium dengan proses difusi. Baja kromium juga merupakan baja yang umum dijumpai dalam banyak aplikasi. Namun penamaan unyuk baja krom biasanya dikelompokkan sesuai aplikasinya. Baja yang merupakan paduan kromium dan baja merupakan baja AISI 50XX, 51XX dan 61XX. Kromium dikombinasikan dengan baja karbon untuk membentuk kromium karbida yang keras. Hal tersebut akan membuat ketahanan mekanik temperatur tinggi, *red-hardness* nya naik. Jadi baja tersebut akan tahan saat bekerja pada temperature tinggi (Brady G. S., 2002).

### 2.3 Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur dengan nomor atom 25. Kromium merupakan unsur yang selalu ada dalam paduan baja. Hal ini dikarenakan pengaruh mangan pada baja untuk mengimbangi pengaruh unsur pengotor pada pembuatan besi dan baja.

**Tabel 2.4** Sifat Fisik Mangan (Mn) (Callister, 1940)

|                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| Struktur Kristal                 | BCC                      |
| Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> ) | 7.21 g·cm <sup>-3</sup>  |
| Massa Atom                       | 54.938045(5)             |
| Nomor Atom                       | 25                       |
| Titik Lebur                      | 1519 K, 1246 °C, 2275 °F |
| Kekerasan (Mohs)                 | 6.0                      |

Mangan diperoleh dari manganite dan pyrolusite serta hamper semua bijih besi. Mangan merupakan logam berwarna silver-putih dengan baying keunguan. Mangan merupakan unsur yang tahan terhadap korosi. Mangan juga merupakan material yang *brittle* namun cukup keras untuk menggores kaca. Mangan dapat terdekomposisi dalam air dan digunakan dalam paduan baja. Mangan digunakan dalam paduan untuk deoksidasi dan pengeras. Hampir semua baja selalu mengandung mangan untuk mengimbangi unsur pengotor yang mengganggu mechanical properties. Mangan dapat



menjadi paduan untuk non-ferrous alloys. Mangan dipasarkan dijual berupa mangan metal dengan kadar mencapai 95-98% maksimal besi 2-3% dan maksimal silicon 1% (Brady G. S., 2002).

## **2.4 Baja (Steel)**

Baja secara umum didefinisikan sebagai paduan besi-karbon dengan kadar karbon tidak lebih dari 2%. Baja merupakan paduan yang paling banyak digunakan oleh manusia. Jenis baja sangat banyak karena penggunaannya yang sangat luas. Hal tersebut membuat baja diklasifikasikan dengan berbagai macam cara (Avner, 1974).

Menurut komposisi kimianya baja digolongkan menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*). Baja karbon sebenarnya masih mengandung unsur lain, namun hal itu diabaikan karena batas tertentu sehingga tidak banyak berpengaruh. Beberapa unsur memang sengaja ditambahkan pada baja karbon untuk mengimbangi pengaruh dari unsur pengotor. (Avner, 1974)

Baja karbon menurut kadar karbonnya terbagi menjadi tiga yaitu:

- **Baja Karbon Menengah (0.3% - 0.7%C)**

Baja karbon ini memiliki struktur mikro ferit dan perlit sehingga memiliki kekuatan yang lebih namun masih cukup ulet dan mudah dibentuk. Baja jenis ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas namun menjadi getas. Banyak digunakan untuk aplikasi konstruksi mesin, poros engkol, batang torak, rodagigi, pegas (Avner, 1974).

- **Baja Karbon Tinggi (0.7%-2% C)**

Baja karbon ini memiliki sifat yang keras sehingga tahan aus, dan kuat. Hal itu berdampak pada keuletan yang rendah sehingga materialnya relatif getas. Penggunaannya pun masih sangat luas dan



biasanya untuk perkakas yang membutuhkan ketahanan aus, mata bor, gunting, kunci mur baut (Avner, 1974).

- **Baja Karbon Rendah (0- 0.3%C)**

Baja ini sangat luas pemakaiannya. Hal ini dikarenakan sifat mekaniknya. Kekuatan baja karbon rendah ini relatif rendah, lunak, tapi keuletannya tinggi sehingga mudah dibentuk dan dimachining. Aplikasinya pada mur, baut pipa, plat. Pada kelompok ini terdapat baja dengan kadar karbon yang sangat rendah (*ultra low carbon steel*). Baja ini digunakan untuk pembuatan baja lembaran, besi strip, *sheet*, dan *coil* (Avner, 1974).

*Low carbon steel* merupakan baja yang memiliki aplikasi yang luas. Karena sifatnya yang relatif lunak dan mudah dibentuk tentunya masih banyak kekurangan dari baja ini. Untuk mengatasi kekurangan yang ada pada penggunaan baja jenis ini, maka diberikanlah unsur paduan yang akan mengubah sifat mekanik baja karbon rendah. Penambahan elemen pembentuk karbida akan menambah kekuatan dari baja ini (Avner, 1974).

## **2.5 Pengaruh Unsur Paduan (*Alloying Effect*)**

Berikut ini adalah beberapa pengaruh unsur paduan pada baja karbon :

- **Pembentuk Penstabil Ferrit**

Merupakan unsur yang membuat ferrit bisa bertahan stabil pada temperature yang lebih tinggi. Hal ini terjadi akibat ferrit akan berubah fasa menjadi austenite pada temperature tertentu. Dalam jumlah banyak dapat menjadikan ferrit tetap stabil pada temperatur leleh. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Cr, Si, Mo, W, Al (Avner, 1974)

- **Pembentuk Penstabil Austenit**



Unsur pada kelompok ini akan membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperature rendah. Austenit yang biasanya bertransformasi jika di dinginkan akan menjadi stabil pada tempratur yang lebih rendah bahkan temperatur kamar. Unsur yang termasuk jenis ini adalah Mn dan Ni (Avner, 1974)

- Pembentuk Karbida

Jika pada ferrit dan austenit memiliki unsur yang dapat membentuk sekaligus menstabilkan, pada karbida berbeda. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr. Jika pada paduan baja ada beberapa unsur yang termasuk dalam pembentuk karbida, tidak semuanya bisa membentuk karbida. Biasanya hanya unsur yang affinitas elektronnya tinggi yang terbentuk karbida (Avner, 1974)

- Penstabil Karbida

Penstabil karbida merupakan unsur yang membuat karbida tidak larut dan terurai pada suatu fasa. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti dan Nb, Disini dapat terlihat tidak semua pembentuk karbida kuat merupakan penstabil karbida yang kuat pula. (Avner, 1974)

- Pembentuk Nitrida

Pada dasarnya unsur dalam jenis ini adalah mayoritas unsur pembentuk karbida. Unsur pembentuk nitrida akan memebentuk nitrida jika baja dilakukan *nitriding*. Nitrida adalah senyawa yang keras sehingga adanya nitrida akan menambah kekerasan pada baja. (Avner, 1974)

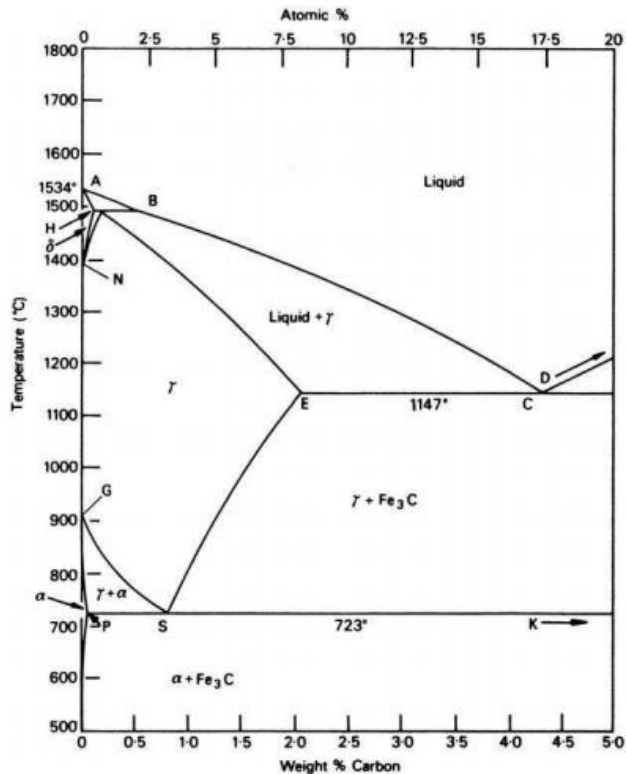
## **2.6 Diagram *Equilibrium* Fe-Fe<sub>3</sub>C**

Diagram *equilibrium* Fe-Fe<sub>3</sub>C merupakan diagram fasa dasar yang digunakan dalam menentukan fasa yang terbentuk pada paduan besi carbon. Hal ini tergantung pada kecepatan pendinginan yang dianggap *equilibrium* saat kecepatan pendinginan lambat. Transformasi diagram fasa





akan terjadi dipengaruhi unsur paduan. Unsur paduan akan menggeser garis dan titik pada diagram fasa sesuai dengan fungsi unsur paduan. Nikel akan menstabilkan austenite pada temperature yang lebih rendah. Maka akan menggeser garis reaksi *eutectoid* ke bawah. Selain itu Nikel juga akan memperlebar daerah austenite sehingga titik *eutectoid* bergeser ke kanan. (Avner, 1974)



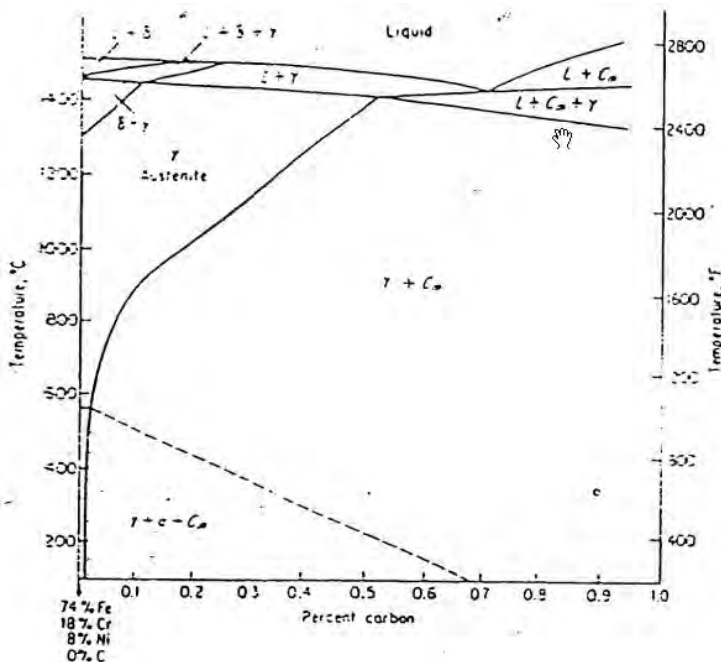
**Gambar 2.2** Diagram fasa besi –besi karbida (Avner, 1974)



## 2.7 Diagram Fasa

Penambahan nikel dan krom baja akan menimbulkan banyak perubahan pada diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C. Berikut ini adalah diagram fasa penambahan 18%Cr dan 8%Ni. (Avner, 1974) dan diagram fasa ternary Fe-Cr-Ni

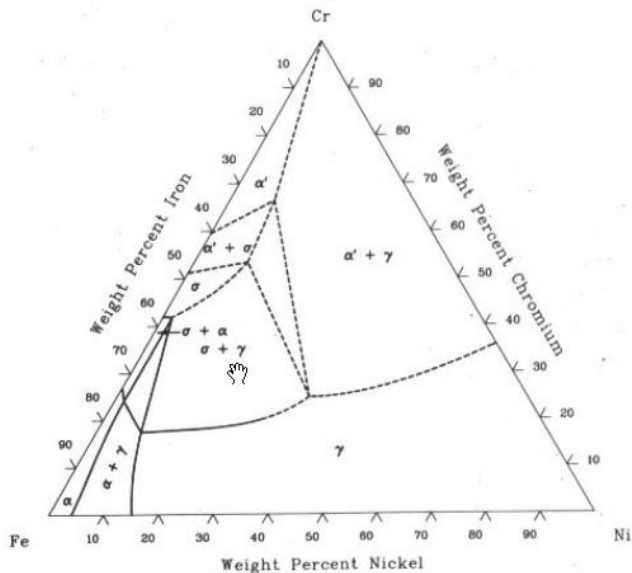
Penambahan nikel hingga 8%wt akan menjadikan daerah austenite luas hingga temperature kamar. Selain itu pada diagram ternary Fe-Cr-Ni dapat dilihat bahwa austenite yang terbentuk akan berupa  $\gamma$ FeNi. Nikel akan saling melarutkan dengan Fe berfasa austenite.



**Gambar 2.3** Diagram Fasa Fe-18Cr-8Ni (Avner, 1974)



Cr-Fe-Ni isothermal section at 650 °C [88Ray]



Note:  $\alpha = (\alpha_{Fe,Cr})$ ;  $\gamma = (\gamma_{Fe,Ni})$

**Gambar 2.4** Ternary Diagram Fasa Fe-Cr-Ni (, ASM Metals Handbook, Vol 03 - alloy phase diagram, 1992)

## 2.8 AISI 1006

Baja ini merupakan baja karbon rendah digolongkan dari kadar karbonnya. Merupakan baja karbon yang luas penggunaannya. AISI 1006 luas digunakan karena sifat mekaniknya yang mudah dibentuk, lunak dan *weldability* yang baik. Selain itu AISI 1006 memiliki ketahanan korosi cukup baik untuk kelas baja karbon. Contoh aplikasinya berupa plat kapal, baja konstruksi, komponen mesin, dan mur baut .



**Tabel 2.5** Komposisi Kimia dan *Mechanical Properties* AISI 1006 (ASTM International, 2000)

|                  |                    |
|------------------|--------------------|
| Carbon ©         | 0.08 % max         |
| Mangan (Mn)      | 0.3 -0.6 % max     |
| Phospor (P)      | 0.035 max          |
| Sulfur (S)       | 0.04 max           |
| Hardness         | 118 HB             |
| Density          | 7.7 – 8.03 (Kg/m3) |
| Tensile Strength | 330 mPa            |
| Yield Strength   | 285 mPa            |

## **2.9 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)**

*Stainless steel* adalah baja dengan penambahan kromium sekurang-kurangnya 11% (Bogaerts, 2008). *Stainless steel* adalah paduan pasif (*passive alloys*) yang terdiri dari besi sebagai elemen utama dan mengandung tidak kurang dari 10.5% Cr dengan maksimum 1.2% C (Jessen, 2011)

Pada permulaan penemuan *stainless steel*, awalnya merupakan pengembangan laporan dari mineralogist Perancis, Berthier, bahwa baja kromium memiliki ketahanan terhadap serangan asam. (Outokompu Oyj, 2013)

Namun hal tersebut dikaburkan oleh pernyataan metallurgist Inggris, Robert Hadfield. Hadfield yang menyatakan krom tidak berguna pada ketahanan korosi berdasarkan tes pada 50% asam sulfuric. Hadfield juga menggunakan airlaut dan asam nitrida pada pengujiannya. (Outokompu Oyj, 2013)

Pada 1911 Monnartz mempublikasi ketidak tahanan paduan besi kromium pada asam sulfuric tidak dapat digeneralisasi. Monnartz juga yang pertama memperkenalkan manfaat molybdenum (Mo) untuk ketahanan korosi pada baja kromium (Outokompu Oyj, 2013).

Pada upaya di Jerman Krupp membuat baja paduan kromium dan nikel. Krupp membuat dengan kadar kromium yang cukup tinggi. Ternyata baja ini dapat disimpan dalam



hitungan bulan pada kelembapan dan lingkungan yang korosif tanpa berkarat. Hal itu menjadi paten pertama yaitu 14Cr Steel (V1M) dan 20Cr 7Ni Steel (V2A) pada 1912. (Outokompu Oyj, 2013)

Pada saat yang sama di Sheffield, Inggris Brearley bereksperimen dengan 12-14%Cr baja kromium dan menemukan bahwa baja tersebut tidak teretsa dengan asam etsa biasa. Brearley juga mencatat bahwa baja kromium memiliki ketahanan korosi lebih baik saat kondisi *hardened* daripada saat kondisi *annealed*. Brearley juga melihat sisi komersil dari material ini sehingga menamai baja tahan karat ini dengan "*Stainless steel* " dan dipatenkan di Amerika dan Eropa pada 1916 (Outokompu Oyj, 2013).

Paralel dengan hal itu Becket yang bekerja di Amerika menemukan material murah yang tidak membentuk kerak pada temperature 1200 celcius. Becket menemukan dengan kromium tidak kurang dari 20% maka akan tahan terhadap oksidasi yang membentuk kerak. Hal tersebut menjadi awalmula penelitian terhadap *heat-resist steel* (Outokompu Oyj, 2013).

Baru pada 1930 dengan dua tujuan utama yaitu ketahanan terhadap asam dan ketahanan termal maka dikembangkan dengan komposisi 25Cr-5Ni-1Mo. Karena jenisnya yang merupakan gabungan ferritik dan austenitic maka dikenal sebagai jenis "Duplex" hingga hari ini (Outokompu Oyj, 2013).

*Stainless steel* digunakan untuk tujuan ketahanan korosi dan ketahanan termal sehingga dikembangkan dengan berbagai macam cara (Bahdesia, 2006). Hal ini akan membuat banyak jenis *stainless steel* yang harus diidentifikasi keunikannya. Dilandasi oleh hal tersebut maka disusun tiga nomor system penamaan untuk mengidentifikasi *stainless steel*. Dua nomor terakhir tidak mengandung arti apapun. Namun angka pertama menunjukkan kelompok *stainless steel* tersebut (Avner, 1974).



**Tabel 2.6** Penamaan *Stainless Steel* (Avner, 1974)

| Seri | Kelompok                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------|
| 2xx  | Chromium-Nickel-Manganese; non-hardenable, austenitic, non-magnetic |
| 3xx  | Chromium-Nickel; non-hardenable, austenitic, non-magnetic           |
| 4xx  | Chromium; Hardenable, martensitic, magnetic                         |
| 5xx  | Chromium; Low Chromium, heat resisting                              |

*Stainless steel* dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan tipe struktur mikro pada temperatur ruangan yang terbentuk. Hal tersebut akan memengaruhi sifat mekanik, sifat fisik, struktur mikro hingga penggunaan *stainless steel*. *Stainless steel* terbagi menjadi lima kelompok (Avner, 1974).

## 2.10 *Stainless steel* 302

*Stainless steel* tipe 302 ini merupakan *stainless steel* austenitic paduan dasar. Hal ini karena banyak jenis *stainless steel* yang dikembangkan dari kekurangan tipe ini. Tipe populer 304 juga merupakan pengembangan jenis ini dengan mengurangi kadar karbonnya sehingga meminimalisir presipitasi karbida saat pengelasan.

**Tabel 2.7** Komposisi Kimia dan *Mechanical Properties* AISI 302 (ASTM International, 2000)

|              |            |
|--------------|------------|
| Carbon ©     | 0.15 % max |
| Mangan (Mn)  | 2 % max    |
| Phospor (P)  | 0.04 max   |
| Sulfur (S)   | 0.03 max   |
| Kromium (Cr) | 17 – 19 %  |



|                  |              |
|------------------|--------------|
| Nikel (Ni)       | 8 -10 %      |
| Hardness         | 201 HB       |
| Density          | 8.03 (Kg/m3) |
| Tensile Strength | 515 mPa      |
| Yield Strength   | 215 mPa      |
| Corrosion rate   | < 0.1 mpy    |

### **2.11 Pengaruh Unsur Paduan pada *Stainless steel***

Pengaruh unsur paduan pada *stainless steel* merupakan beberapa unsur paduan yang biasa ditambahkan pada *stainless steel* untuk tujuan tertentu. Berikut adalah beberapa unsurnya

- **Kromium (Cr)**

Kromium merupakan elemen penting dalam pembentukan *stainless steel*. Baja dapat dikatakan menjadi *stainless steel* jika mengandung Cr minimal 10.5%. Selain penambahan ketahanan korosi, kromium membuat ketahanan terhadap oksidasi temperature tinggi serta membentuk struktur mikro ferrite.

- **Nikel (Ni)**

Alasan penambahan nikel pada *stainless steel* adalah untuk menstabilkan austenite agar menambah keuletan dan ketangguhan. nikel juga akan menjadikan ketahanan korosi yang lebih tinggi terhadap lingkungan asam. Pada precipitation hardening *stainless steel* nikel berfungsi sebagai penambah kekuatan serta memperbaiki weldability.

- **Molybdenum (Mo)**

Molybdenum pada dasarnya ditambahkan untuk menambah ketahanan korosi. Pada *stainless steel* Mo juga sedikit menambah kekuatan.

- **Mangan (Mn)**

Mangan merupakan unsur yang menjaga keuletan saat temperature tinggi pada *stainless steel*. Mangan juga digunakan untuk menggantikan nikel yang secara ekonomis lebih mahal.



- Silicon (Si)

Silikon adalah elemen paduan pada *stainless steel* yang berfungsi untuk memperbaiki ketahanan oksidasi pada temperature tinggi.

- Carbon ©

Carbon merupakan salah satu pembentuk austenite kuat sehingga secara signifikan menaikkan kekuatan. Namun karbon juga mereduksi ketahanan untuk mengatasi intergranular korosi.

- Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan pembentuk austenite kuat yang juga menaikkan kekuatan. Nitrogen adalah solusi elemen yang ditambahkan karena *stainless steel* tidak bisa ditambahkan banyak karbon akibat presipitasi karbida.

- Niobium (Nb)

Merupakan unsur penstabil ferrite. Penambahan Nb pada *stainless steel* akan menaikkan sifat mekanik pada temperature tinggi.

- Sulphur (S)

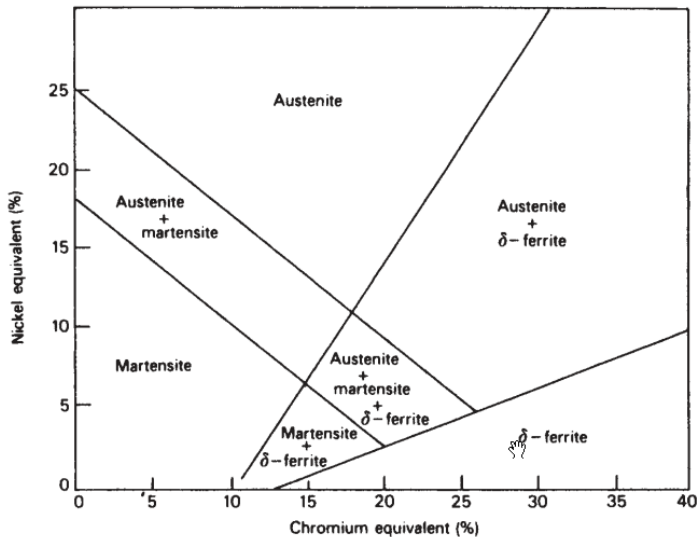
Sulfur merupakan paduan yang memperbaiki machineability. Dalam jumlah yang tinggi sulfur akan mengurangi ketahanan korosi

Pengaruh paduan terhadap mikrostruktur dapat dilihat pada diagram schaffler gambar 2.2 yang menunjukkan fasa *stainless steel* terhadap komposisi paduan. Analisa diagram dilakukan dengan menghitung komposisi paduan dengan persamaan 2.1 (Outokompu Oyj, 2013)

$$\text{Nikel equivalen} = \%Ni + 0.5 \%Mn + 30 (\%C + \%N) \quad (2.1)$$

$$\text{Kromium equiuvalen} = \%Cr + \%Mo + 1.5 \%Si + 0.5 \%Nb \quad (2.2)$$





Gambar 2.5 Schaffler Diagram (Bahdesia, 2006)

## 2.12 Besi Tuang Putih

Besi tuang putih ( *white cast iron* ) merupakan paduan besi-karbon dengan kadar karbon hipoeutektik. Besi tuang putih mula mula adalah molten iron yang kemudian didinginkan relatif cepat dengan melewati solidus sehingga terbentuk kristal austenite yang mengandung satu persen karbon. Kemudian berlanjut dengan terus mengalami pembekuan sehingga austenite makin kaya akan karbon serta reaksi *isothermal* eutektik pada 1130 derajat celcius. Pada saat itu paduan yang terdiri dari *liquid* dan austenite yang berbentuk dendritic. Pada tempratur eutektik fasa liquid berubah menjadi fasa yang berbentuk lamelar. Fasa lamellar tersebut adalah ledeburite yang lapisannya merupakan austenite dan sementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Seiring dengan menurunnya temperature pada 723 derajat celcius kembali mengalami reaksi *eutectoid*. *Eutectoid* mengubah austenite menjadi



perlite. Pada tahap ini austenite yang berubah adalah austenite yang berbentuk dendrite (Avner, 1974).

Aplikasi besi tuang putih pada keperluan *engineering* tergolong terbatas. Hal ini karena beberapa *mechanical properties* besi tuang putih yang keras. Kekerasan besi tuang putih bisa mencapai 375 – 600 BHN. Ini menyebabkan machineability besi tuang putih buruk. Selain itu besi tuang putih juga relatif *brittle* sehingga tidak digunakan untuk benda yang memerlukan keuletan. Sebaliknya, besi tuang putih diaplikasikan pada benda kerja yang memiliki daya tahan aus ( *wear resistance* ) yang baik. Dinding *ball mill* pada industri semen, *drawing dies* pembuatan *wire rod*, dan *nozzle* pada mesin *extruder* adalah contoh aplikasinya. (Avner, 1974).

**Tabel 2.8** Komposisi Kimia dan *Mechanical Properties White Cast Iron* (Avner, 1974)

|                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| Carbon ©         | 1.8-3.6 %                 |
| Mangan (Mn)      | 0.25 – 0.8%               |
| Phospor (P)      | 0.06-0.2 %                |
| Sulfur (S)       | 0.06 – 0.2%               |
| Hardness         | 375-600 HB                |
| Density          | 8.03 (Kg/m <sup>3</sup> ) |
| Tensile Strength | 137.9 - 482.6 mPa         |

### **2.13 High Alloy White Cast Iron (HAWCI)**

*High Alloy White Cast Iron* (HAWCI) adalah material yang biasa digunakan untuk aplikasi ketahanan abrasi. HAWCI diaplikasikan sebagai material *crusher* dan *abrasive*. Banyaknya eutektik karbida pada mikrostrukturnya menyebabkan kekerasan yang tinggi. Hal ini juga mendukung aplikasinya sebagai material *grinding* dan abrasif. Karbida yang didukung fasa metal sebagai matriks dalam besi cor putih dapat disesuaikan dengan paduan dan perlakuan panas. Pengembangan material ini dengan tepat perlu adanya keseimbangan antara ketahanan abrasi dan kekuatan impak.



Hal ini karena material akan terkena beban impact secara terus menerus pada aplikasinya (Davis J. R., 1996).

Semua HAWCI mengandung unsur kromium untuk mencegah terbentuknya grafit pada saat pembekuan dan memastikan kestabilan karbida yang terbentuk. Nikel, molybdenum dan tembaga ataupun kombinasinya untuk mencegah fasa pearlite terbentuk. Hal ini karena besi tuang putih perlitik kekerasannya 350-550 HB sedangkan HAWCI range kekerasannya 450-800 HB (Davis J. R., 1996).

Pada penambahan unsur paduan, karbida eutektik (M7C3) karbida kromium merupakan fasa yang sangat keras lebih. Karbida eutektik lebih keras dari karbida besi pada baja. Penambahan ketahanan abrasi oleh unsur paduan akan menambah wear life bertambah secara signifikan (Davis J. R., 1996).

**Tabel 2.9** Komposisi kimia *high alloy white cast iron* ASTM A532

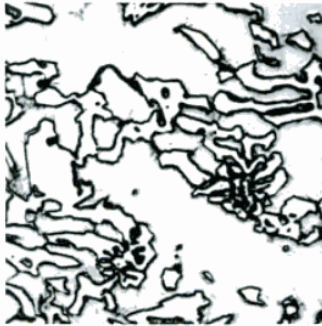
| Class | Type | Designation | Carbon  | Manganese | Silicon | Nickel  | Chromium  | Molybdenum | Copper  | Phosphorus | Sulfur   |
|-------|------|-------------|---------|-----------|---------|---------|-----------|------------|---------|------------|----------|
| I     | A    | Ni-Cr-Hc    | 2.8-3.6 | 2.0 max   | 0.8 max | 3.3-5.0 | 1.4-4.0   | 1.0 max    | ...     | 0.3 max    | 0.15 max |
| I     | B    | Ni-Cr-Lc    | 2.4-3.0 | 2.0 max   | 0.8 max | 3.3-5.0 |           | 1.0 max    | ...     | 0.3 max    | 0.15 max |
| I     | C    | Ni-Cr-GB    | 2.5-3.7 | 2.0 max   | 0.8 max | 4.0 max | 1.0-2.5   | 1.0 max    | ...     | 0.3 max    | 0.15 max |
| I     | D    | Ni-HiCr     | 2.5-3.6 | 2.0 max   | 2.0 max | 4.5-7.0 | 7.0-11.0  | 1.5 max    | ...     | 0.10 max   | 0.15 max |
| II    | A    | 12 % Cr     | 2.0-3.3 | 2.0 max   | 1.5 max | 2.5 max | 11.0-14.0 | 3.0 max    | 1.2 max | 0.10 max   | 0.06 max |
| II    | B    | 15 % Cr-Mo  | 2.0-3.3 | 2.0 max   | 1.5 max | 2.5 max | 14.0-18.0 | 3.0 max    | 1.2 max | 0.10 max   | 0.06 max |
| II    | D    | 20 % Cr-Mo  | 2.0-3.3 | 2.0 max   | 1.0-2.2 | 2.5 max | 18.0-23.0 | 3.0 max    | 1.2 max | 0.10 max   | 0.06 max |
| III   | A    | 25 % Cr     | 2.0-3.3 | 2.0 max   | 1.5 max | 2.5 max | 23.0-30.0 | 3.0 max    | 1.2 max | 0.10 max   | 0.06 max |

Total karbon pada besi tuang putih sangat esensial. Hal ini karena akan menentukan kekerasan besi tuang dan ketahanan aus nya. Kadar karbon juga akan membuat kecenderungan terbentuknya grafit pada saat pembekuan. Grafit juga sangat dipengaruhi kadar silikon. Semakin tinggi

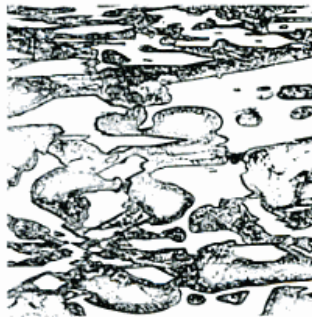


kadar silikon maka kecenderungan pembentukan grafit juga semakin besar. Oleh sebab itu jika membuat besi tuang putih, perlu menjaga kadar silikon tetap rendah (Davis J. R., 1996).

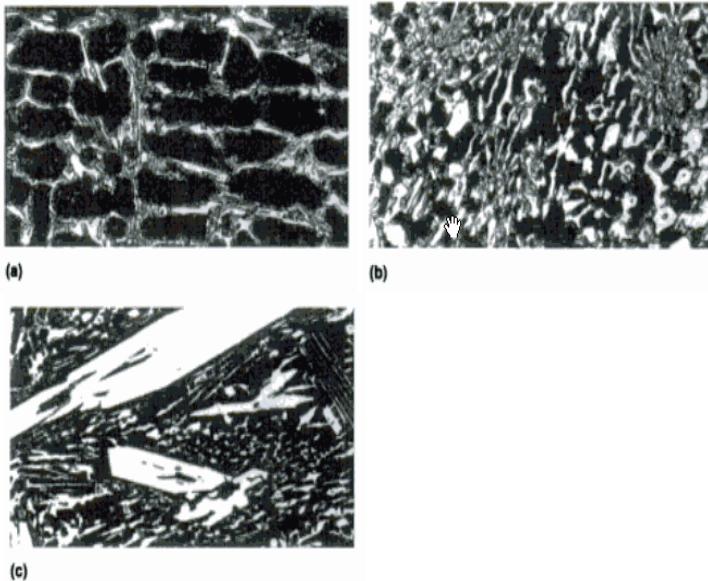
Martensitik atau austenitic *white cast iron* mengandung 12 – 28 % kromium. Kandungan kromium yang tinggi akan menyebabkan kromium muncul dalam bentuk karbida. Besi tuang putih martensitik biasanya mengandung molybdenum, nikel, mangan, atau tembaga. Unsur paduan tersebut akan menaikkan kekerasan pada besi tuang (Davis J. R., 1996).



**Gambar 2.6** *High chromium white cast iron* dengan matriks austenitic perbesaran 500x (Davis J. R., 1996)



**Gambar 2.7** *High chromium white cast iron* dengan matriks austenitic-martensitik perbesaran 500x (Davis J. R., 1996)



**Gambar 2.8** *High chromium white cast iron* dengan kadar karbon (a) hipoeutektik (b) eutektik (c) hipereutektik (Davis J. R., 1996)

### 2.14 *Nikel Chromium White Irons*

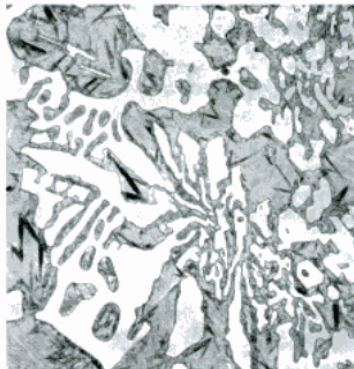
Kelompok *high alloy white cast iron* yang umum pada dunia industri adalah Cr-Ni *white iron* (Ni-Hard Irons). Material ini sudah diproduksi lebih dari lima puluh tahun dan sangat efektif material untuk crushing dan grinding. Pada *martensitic white iron*, nikel merupakan paduan utama karena 3-5% Ni akan menekan jumlah austenit jadi perlit. Jadi untuk menambah kekerasan, struktur martensit (yang banyak mengandung austenit sisa) akan terbentuk pada pendinginan dalam mold. Kromium juga ditambahkan 1.4 – 4% untuk membentuk karbida serta melawan efek grafitisasi dari nikel.

Ketahanan abrasi adalah fungsi dari karbida krom. Ketahanan abrasi sangat bergantung pada kekerasan karbida

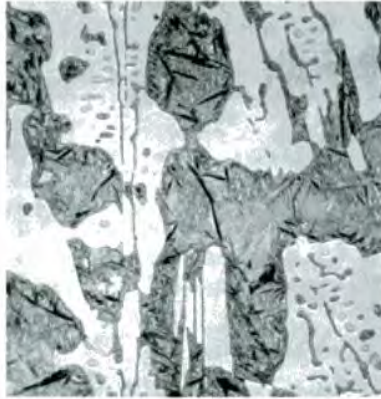


dan jumlah karbida pada besi tuang putih. Pada kekerasan besi tuang, jika ketahanan abrasi adalah syarat utama dan menomorduakan kekuatan impact maka disarankan memilih kadar karbon yang tinggi kelas I type A pada ASTM A532. Jika kondisi material akan terkena beban impact yang berulang, untuk mengantisipasi digunakan kadar karbon yang lebih rendah kelas I type B (Ni-Hard 2). Kekerasan pada type B lebih rendah karena memiliki jumlah karbida yang lebih sedikit dibanding type A. Sedangkan tipe C dikembangkan dalam pembuatan *grinding balls* (Davis J. R., 1996).

Kelas I tipe D (Ni-Hard 4) merupakan modifikasi besi tuang putih dengan kadar kromium lebih tinggi antara 7-11% dan kadar nikel lebih tinggi 5-7%. Sedangkan paduan lebih rendah dari itu akan membentuk eutektik karbida berupa M<sub>3</sub>C (karbida besi) yang berbentuk *continuous network* pada besi tersebut. Kadar kromium pada tipe D akan membentuk karbida M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbida kromium. Karbida M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> terbentuk dengan bentuk yang tidak kontinu (gambar 2.9) (Davis J. R., 1996).



**Gambar 2.9** Tipikal mikrostruktur besi tuang putih nikel kromium kelas I tipe D perbesaran 340x (Davis J. R., 1996)



**Gambar 2.10** Tipikal mikrostruktur besi tuang putih nikel kromium kelas I tipe A perbesaran 340x (Davis J. R., 1996)

Modifikasi pada pola karbida eutektik memberikan improvement pada ketahanan pada patah karena impak. Jumlah paduan yang lebih tinggi pada besi tuang putih ini juga meningkatkan ketahanan korosi. Hal ini sangat berguna pada saat *handling* material. (Davis J. R., 1996)

Aplikasi karena sifat ekonomis, besi tuang krom-nikel martensitic digunakan dalam jumlah besar untuk *ball mill liners* dan *grinding ball*. Kelas I tipe A digunakan untuk material yang membutuhkan ketahanan abrasi maksimum. Contohnya adalah pipa abu, pompa lumpur, roll heads, mata bor dan banyak lagi. Tipe B digunakan pada material yang membutuhkan kekuatan lebih dan ketahanan impak yang cukup seperti papan dan bantalan kruser, serta pasak *pulverizer*. Kelas I tipe D (Ni-Hard 4) memiliki kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi, oleh karena itu banyak digunakan pada spiral pompa lumpur yang abrasif. Kelas I tipe C (Ni-Hard 3) spesifik digunakan untuk *grinding balls*. (Davis J. R., 1996)



### **2.15 Pengaruh Unsur Paduan pada Besi Tuang Putih**

Pengaruh unsur paduan pada besi tuang putih merupakan beberapa unsur paduan yang biasa ditambahkan pada besi tuang putih untuk tujuan tertentu. Berikut adalah beberapa unsurnya

- **Kromium (Cr)**

Kromium merupakan elemen yang penting pada unsur paduan besi tuang putih. Fungsi dari kromium adalah untuk membentuk karbida, menambah ketahanan korosi, dan menstabilkan karbida pada penggunaan di temperatur tinggi. Kromium dengan kadar sedikit biasa dipadukan untuk menjaga kestabilan dan pembentukan karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) hal itu untuk mencegah terbentuknya grafit bebas pada. Pada penambahan 2- 3 % kromium tidak banyak memberikan efek pada kekerasan. Kromium pada kadar rendah akan memberikan efek pada butir perlit yang semakin halus. Kromium pada kadar sedikit akan menambah *wear resistance* pada perlitik *white cast iron* (Davis J. R., 1996).

Kromium pada besi tuang putih jika lebih dari 10% akan membentuk karbida eutektik  $\text{M}_7\text{C}_3$ . Karbida  $\text{M}_7\text{C}_3$  yang berbentuk hexagonal seperti pedang morfologinya. Karbida eutektik  $\text{M}_7\text{C}_3$  akan menggantikan dominasi karbida krom  $\text{M}_3\text{C}$  yang dominan pada kadar kromium rendah. Hal ini akan membuat terbentuknya karbida eutektik  $\text{M}_7\text{C}_3$  dikelilingi austenite atau produk transformasinya. Pada kadar kromium rendah karbida eutektik  $\text{M}_3\text{C}$  membentuk matriksnya (Davis J. R., 1996).

- **Nikel (Ni)**

Nikel dalam paduan Fe-Cr-Ni hamper seluruhnya terdistribusi dalam fasa austenite. Selain itu nikel juga merupakan unsur yang membantu pembentukan grafit. Jika ditambahkan pada besi tuang putih kromium rendah hingga 2.5% nikel akan membentuk perlit yang lebih keras dan lebih halus yang akan meningkatkan wear





resistance. Nikel dengan kadar lebih tinggi dari 4.5% sangat dibutuhkan untuk menekan pembentukan perlit dan memastikan pembentukan martensit ketika didinginkan dalam cetakan. Pada praktik pembentukan NiHard *iron* dengan cetakan kecil seperti bola grinding, yang dapat dikeluarkan dalam keadaan panas maka akan membentuk martensit walaupun kadar nikel dalam paduan hanya 2.7%. Dalam kasus lain nikel dengan kadar lebih dari 6.5% akan menstabilkan austenite dan sedikit martensit jika terbentuk pada saat pembuatan. Dengan jumlah yang relative besar nikel berperan sebagai penstabil austenit pada Ni ard cast iron. ustenit yang terbentuk dapat berubah menjadi martensit dengan mendinginkan hasil coran pada temperature - ataupun dengan perlakuan panas *special* (Davis J. R., 1996).

- Mangan (Mn)

Mangan dan sulfur adalah dua unsur yang harus diperhatikan bersamaan saat pemaduan. Hal ini karena jika dalam kondisi sendiri, mangan ataupun sulfur akan menambah kedalaman pendinginan sehingga dapat menambah kekerasan. Namun jika muncul bersamaan akan mereduksi kedalaman pendinginan hingga konsentrasinya netral membentuk senyawa MnS. Pada umumnya sulfur adalah elemen pengotor sisa. Penambahan mangan akan mengkompensasi jumlah sulfur pada paduan. Mangan akan cenderung membantu terbentuknya fasa perlit yang lebih halus sehingga lebih keras. Selain itu mangan biasa ditambahkan untuk mengatasi masalah cacat bintik pada hasil coran. Mangan dengan jumlah berlebih akan menekan jumlah pearlite. Mangan juga merupakan austenite stabilizer yang cukup baik. Normalnya mangan pada paduan dijaka kisaran 0.7%wt Mn (Davis J. R., 1996).



- **Silicon (Si)**

Silikon merupakan salah satu utama pada cast iron. Silikon juga merupakan unsur utama yang menentukan titik eutektik. Silikon juga merupakan unsur yang mendukung pembentukan grafit saat pembekuan. Silikon merupakan paduan penting karena akan mengontrol kedalaman pendinginan. Pada *high alloy white cast iron* silikon akan mengurangi kekerasan. Silikon akan cenderung membentuk perlit pada besi tuang putih martensitik. Namun dengan mengontrol silikon dengan baik akan membuat temperatur pembentukan martensit semakin tinggi sehingga menambah jumlah martensit saat pendinginan (Davis J. R., 1996).

- **Karbon**

Karbon merupakan unsur paduan yang selalu ada dalam besi tuang. Besi tuang merupakan paduan dengan kadar karbon lebih dari 2%wt C. Carbon merupakan unsur yang cenderung membentuk grafit. Hal itu juga dipengaruhi kadar silikon yang tinggi. Dengan kadar karbon tinggi namun kadar silikon yang relatif rendah karbon cenderung membentuk karbida.

## **2.16 Pengecoran**

Proses pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Proses ini membutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. Pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia. (Sudjana, 2008).

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil



pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, assesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini (Sudjana, 2008).

### **2.16.1 Pola**

Pola perlu dalam pembuatan coran. Pola yang dipergunakan untuk pembuatan cetakan pada benda coran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan pola kayu (termasuk pola plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran, terutama dalam masa produksi, sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitasnya lebih tinggi (Chijjiwa, 2006).

Bahan dari pola logam bisa bermacam-macam sesuai dengan penggunaannya. Sebagai contoh, logam tahan panas seperti: besi cor, baja cor, dan paduan tembaga adalah cocok untuk pola pada pembuatan cetakan kulit, sedangkan paduan ringan, adalah mudah diolah dan dipilih untuk pola yang dipergunakan dalam masa produksi dimana pembuatan cetakan dilakukan dengan tangan (Chijjiwa, 2006).

Pola kayu dibuat dari kayu, murah, cepat dibuatnya dan mudah diolahnya dibandingkan dengan pola logam. Oleh



karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir (Chijiiwa, 2006).

### **2.16.2 Cetakan**

Cetakan digunakan untuk membentuk model hasil coran sesuai yang diinginkan. bentuk cetakan biasanya menyesuaikan dengan tujuan pengecoran yang dilakukan. bahan yang digunakan untuk cetakan disebut "Moulding Material". Rongga cetakan harus bisa mempertahankan bentuknya agar logam cair yang masuk tidak berubah bentuk pada saat dituang. Cetakan dapat dibagi dua, cetakan permanen dan cetakan sementara. contoh cetakan permanen biasa terbuat dari Logam *Ferrous*, dan besi cor. cetakan yang bersifat sementara biasanya terbuat dari pasir refraktori, plaster, resin, lilin.

Sebagian cetakan menggunakan pasir refraktori karena lebih murah dibanding cetakan permanen yang lebih mahal (Banga, 1981).

Sifat Pasir cetakan yang dibutuhkan adalah:

1. Permeabilitas  
Logam cair selalu mengandung sejumlah gas yang larut, yang berubah saat logam memadat. Selain itu saat logam cair bersentuhan dengan cetakan akan tercipta uap air. Jika gas dan uap air tersebut tidak dapat keluar dari cetakan maka akan terbentuk lubang gas dan pori pada coran. Karena itu pasirnya harus cukup berpori agar dapat dilewati oleh gas dan uap air saat logam cair dituang. Pasir yang kasar atau mempunyai butir yang bulat mempunyai permeabilitas yang lebih baik. *Ramming* dan penambahan tanah liat akan menaikkan permeabilitas. Permeabilitas yang tidak memadai akan menyebabkan cacat seperti *surface blows*, *gasholes*, *mould blasting*, dan lain-lain.
2. Plastisitas atau Mampu Alir



Sifat ini mengarah pada kemampuan pasir cetak untuk mendapat bentuk yang ditentukan dibawah tekanan dan mempertahankannya saat tekanan dihilangkan. Untuk mendapat hasil yang baik dari pola yang ada didalam cetakan, plastisitas yang tinggi diperlukan dari pasir cetak.

3. **Adhesivitas**  
Partikel dari pasir cetak harus mampu melekat ke bagian lain. Berarti tepi dari pasir cetak harus dapat saling melekat.
4. **Kohesivitas**  
Kemampuan dari partikel pasir untuk saling melekat disebut “kohesivitas” atau “kekuatan”. Jika tidak mempunyai kemampuan yang cukup, maka akan menyebabkan runtuhnya pasir saat pengangkatan, pembalikan, penutupan, atau penuangan, hal ini dapat hancur atau rusak sebagian.
5. **Sifat Refraktori**  
Kemampuan pasir cetak untuk tahan terhadap temperatur tinggi dari logam cair tanpa terjadi fusi disebut “sifat refraktori”. Pasir cetak yang mempunyai sifat refraktori yang rendah akan terbakar saat pengecoran. Bagaimanapun, pasir silika mempunyai pemuai termal yang tinggi pada 575°C. Jika dibandingkan dengan pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang rendah, sifat refraktori ini lebih esensial untuk pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang tinggi seperti baja.
6. **Ketahanan Kimiawi**  
Pasir cetak tidak boleh bereaksi secara kimiawi dengan logam karena jika pasir bereaksi maka bentuk dari coran akan menyimpang dan rusak.
7. **Mampu Hancur**



Sifat pasir cetak inilah yang menentukan apakah pasir cetak dapat runtuh secara otomatis saat pemadatan coran dan hancur saat pemukulan dan pembersihan.

8. **Kehalusan**  
Pasir cetak yang lebih halus mencegah terjadinya penetrasi logam, dan memberikan permukaan yang halus pula pada coran. Kehalusan pasir dan permeabilitas pasir saling bertolak belakang. Sehingga keduanya harus seimbang untuk mencapai hasil yang optimal. Kedua sifat ini dapat dijaga dengan menggunakan pelapisan cetakan pada permukaan cetakan yang mempunyai permeabilitas yang tinggi.
9. **Koefisien Pemuaian yang Rendah.**  
Pasir cetak harus mempunyai koefisien pemuaian yang rendah.
10. ***Bench Life***  
Adalah kemampuan pasir cetak untuk mempertahankan sifatnya selama penyimpanan, penanganan, penggunaan, contohnya pada saat delay.

### **2.16.3 Cetakan Pasir**

Pasir cetak memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut (Chijiwa, 2006)

1. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair waktu dituang kedalamnya. Oleh karena itu kekuatannya pada temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperlukan.
2. Permeabilitas yang cocok. Dikawatirkan bahwa hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan, gelembung gas atau kekasaran permukaan, kecuali jika udara atau gas yang terjadi dalam cetakan waktu penuangan disalurkan



- melalui rongga-rongga diantara butir-butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.
3. Distribusi besar butir yang cocok permukaan coran diperhalus kalau coran dibuat dalam cetakan yang berbutir halus. Tetapi kalau butir pasir terlalu halus, gas dicegah keluar dan membuat cacat, yaitu gelembung udara. Distribusi besar butir harus cocok mengingat dua syarat yang disebut diatas.
  4. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang. Temperatur penuangan yang biasa untuk bermacam-macam coran dinyatakan dalam tabel dibawa

**Tabel 2.10** Temperatur Penuangan Untuk Berbagai Coran  
(Chijiwa, 2006)

| <b>Macam Coran</b> | <b>Temperatur Penuangan (°C)</b> |
|--------------------|----------------------------------|
| Paduan Ringan      | 650 – 750                        |
| Brons              | 1.100 – 1.250                    |
| Kuningan           | 950 – 1.100                      |
| Besi Cor           | 1.250 – 1.450                    |
| Baja Cor           | 1.500 – 1.550                    |

- Butir pasir dan pengikat harus mempunyai derajat tahan api tertentu terhadap temperatur tinggi, kalau logam cair dengan temperatur tinggi ini dituang kedalam cetakan.
5. komposisi yang cocok. Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.
  6. Mampu pakai lagi. Pasir harus dapat dipakai berulang-ulang supaya ekonomis.
  7. Pasir harus murah.

**2.16.4 Toleransi Penyusutan**

Semua logam yang digunakan dalam pengecoran ukurannya akan mengecil dan menyusut setelah pemadatan dan pendinginan di dalam cetakan. Untuk mengimbangi hal ini maka pola dari cetakan harus dibuat lebih besar dari ukuran coran yang sebenarnya, sesuai dengan jumlah yang disebut dengan “pengecilan pembuatan pola”. Pembuatan pola dilengkapi dengan aturan khusus dan skala yang disebut dengan “prinsip pengecilan pembuatan pola”. Dalam menyusun pengukuran dari pola, pembuat pola memperkenalkan pengecilan ini dengan menggunakan aturan ini yang sedikit lebih panjang dari aturan yang sama dalam panjang yang sama. Untuk pengecoran logam yang berbeda maka mungkin akan berbeda juga prinsip pengecilannya namun pada umumnya prinsip tersebut digunakan pada setiap sisi, dimana ada 2 skala, jumlah total skalanya adalah 4 untuk 4 logam coran umum, seperti baja, besi cor, kuningan, dan Aluminium. Pembagian pada setiap skala ini ukurannya dilebihkan dengan jumlah yang proporsional, contohnya saap membuat pola untuk besi cor, pembuat pola menggunakan pengukuran prinsip pengecilan sekitar 10 mm tiap 1 meter lebih panjang dari ukuran konvensional karena besi cor menyusut 10 mm tiap 1 meter. Pola asal yang digunakan untuk membuat pola logam memerlukan penghitungan toleransi penyusutan yang ganda (Banga, 1981)

**Tabel 2.11** Toleransi Penyusutan untuk Logam Cor yang Penting (Banga, 1981)

| No | Logam           | Pengecilan (persen) | Pengecilan (mm per meter) |
|----|-----------------|---------------------|---------------------------|
| 1  | Besi Cor Kelabu | 0,7 hingga 1,05     | 7 hingga 10,5             |
| 2  | Besi Cor Putih  | 2,1                 | 21                        |





|    |                      |                 |                |
|----|----------------------|-----------------|----------------|
| 3  | Besi Cor Mampu Tempa | 1,5             | 15             |
| 4  | Baja                 | 2,0             | 20             |
| 5  | Kuningan             | 1,4             | 14             |
| 6  | Aluminium            | 1,8             | 18             |
| 7  | Paduan Aluminium     | 1,3 hingga 1,6  | 13 hingga 16   |
| 8  | Tembaga              | 1,05 hingga 2,1 | 10,5 hingga 21 |
| 9  | Magnesium            | 1,8             | 18             |
| 10 | Seng                 | 2,5             | 24             |
| 11 | Baja Mangan          | 2,6             | 26,5           |

Jumlah penyusutan yang dicantumkan diatas dan prinsip pengecilan ini hanyalah gambaran rata-rata. Pengecilan yang sebenarnya pada pengecoran tergantung dari faktor-faktor berikut:

1. Ketebalan dan dimensi pengukuran lain dari coran.
2. Desain dan seluk-beluk dari coran.
3. Ketahanan cetakan untuk menyusut.
4. Bahan cetakan yang dipakai dan kekerasannya.
5. Metode pencetakan yang digunakan
6. Temperatur penuangan logam cair.

#### **2.16.5 Pemeriksaan Coran**

Pemeriksaan hasil coran adalah dimana hasil coran yang dilakukan akan diperiksa dan diuji.

Pemeriksaan coran mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Memelihara kualitas  
Kualitas dan baiknya produk coran harus dijamin dengan jalan memisahkan dengan produk gagal
2. Penekanan biaya  
Dalam pemeriksaan penerimaan bahan baku dan bahan yang diproses sejak dari pembuatan cetakan sampai selesai
3. Penyempurnaan teknik.



Menurut data kualitas yang didapat dari awal pemeriksaan dan percobaan, menyisihkan produk yang cacat dapat dilakukan lebih awal dan selanjutnya tingkat kualitas dapat dijaga.

Pemeriksaan produk coran dapat digolongkan menjadi beberapa jenis :

1. Pemeriksaan rupa  
Dalam pemeriksaan ini yang dilihat adalah: ketidak teraturan, inklusi retakan dan sebagainya.
2. Pemeriksaan Cacat (pemeriksaan tak merusak)  
Dalam pemeriksaan ini diteliti adanya cacat atau tidak dalam hasil coran seperti: rongga udara, rongga penyusutan, retakan dan sebagainya.
3. Pemeriksaan bahan  
Dalam pemeriksaan ini ketidakaturan bahan diteliti. demikian juga halnya dengan komponen, struktur mikro dan sifat mekanik diperiksa.
4. Pemeriksaan dengan merusak.  
Pemeriksaan dengan merusak dilakukan dengan cara merusak hasil coran tersebut untuk dapat melihat hasil dankualitas dari hasil coran tersebut dan dapat membedakan dengan produk cacat dengan yang baik.  
Pemeriksaan kualitas dilakukan sesuai dengan ketentuan yang dibuat sebelumnya mengenai ukuran dan jumlah contoh, sedangkan pemeriksaan kecacatan produk dilakukan setiap kali apabila diperlukan.  
sebagai hasil dari pemeriksaan produk mengenai macam-macam cacat, bentuk, tempat yang diteliti, keadaan produk dan lain-lainnya harus dicatat secara tepat, selanjutnya bagi produkyang lulus pemeriksaan, tingkat kualitasnya harus dicatat dengan alur yang sama agar dapat membedakan hasil yang cacat dan yang lolos pemeriksaan (Surdia, 1999)



### 2.16.6 *Finishing* dan *defect* dalam Proses Pengecoran

Proses finishing dalam pengecoran merupakan proses yang terjadi setelah penuangan dan proses pendinginan. Ada beberapa proses finishing, yaitu ;

1. Casting knock out  
Pelepasan cetakan keramik dengan menggunakan mesin knocking atau biasa disebut dengan knocker.
2. Cut Off casting  
Pemisahan produk dari *gating system*-nya. Proses ini menggunakan mesin potong yang digunakan adalah tipe roda pemotong dengan posisi tetap
3. Pembersihan  
Ada 3 (tiga metode) ada 3 (tiga) metode yang umum digunakan. Pertama pembersihan secara *abrasive*, metode pembersihan abrasives dengan mesin Hook Shot Blasting. Pada proses pembersihan dengan Hook Shot Blasting, produk ditembaki dengan menggunakan bola baja berukuran kecil. Kedua dengan cara kimiawi atau pickling, pada proses ini benda coran dimasukkan ke dalam larutan kimia dengan komposisi 75% air, 8% HF, 17% HNO<sub>3</sub>. Untuk yang ketiga yaitu pembersihan dengan cara penyemprotan air.
4. Grinding  
Proses grinding ini bertujuan untuk meratakan permukaan hasil coran.
5. Pressing  
Proses ini untuk mempresisikan produk hasil coran  
Adapun untuk *defect* atau cacat yang biasa terjadi dalam proses pengecoran yaitu;
  1. Shrinkage



Penyusutan akibat adanya perbedaan temperatur pada proses penuangan.

2. Coldshut

Rongga dengan ujung bulat terjadi karena proses pertemuan dua aliran konvergen yang tidak sempat menyatu akibat proses pembekuannya cepat. Proses pencegahan dari cacat ini yaitu memperbaiki *gating system*.

3. Inklusi keramik

Rongga akibat adanya keramik yang rontok. Cacat ini disebabkan karena lapisan keramik tergerus pada saat proses penuangan

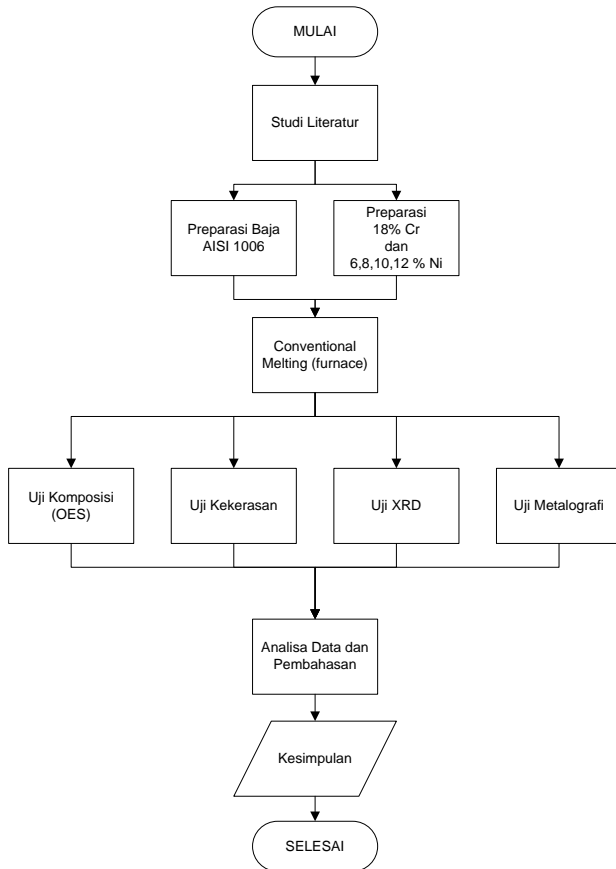


*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir

Gambar 3.1 adalah diagram alir pada penelitian ini



**Gambar 3.1** Diagram alir Penelitian



### 3.2 Metode Penelitian

Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung massa tiap – tiap bahan lebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Setelah proses penghitungan jumlah bahan lebur. Bahan dimasukkan ke dalam krusibel dan dilelehkan menggunakan *furnace*. Saat meleleh bahan diaduk sehingga homogen. Metode pembuatan specimen uji dilakukan dengan memotong benda hasil coran menggunakan gergaji sesuai bentuk yang diinginkan. Perhitungan massa bahan lebur pada penelitian kali ini menggunakan prinsip *material balance*. Yaitu massa benda lebur adalah sejumlah persamaan 3.1

$$\frac{\% Target Unsur}{\% Rasio kadar unsur pada bahan} \times Massa total \quad (3.1)$$

- a) Analisis Komposisi Kimia  
Analisis komposisi kimia dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian OES. Analisa komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur paduan dalam specimen sehingga dapat dianalisa lebih lanjut tentang perbedaan kekerasan dan struktur mikronya.
- b) Analisis Struktur Mikro  
Analisis Struktur Mikro menggunakan mikroskop optic. Hal ini bertujuan untuk mengamati fasa yang terbentuk. Fasa hanya dapat terlihat pada mikro.
- c) Analisis Fasa  
Analisis fasa dilakukan dengan menganalisa hasil pengujian XRD. Pengujian XRD bertujuan untuk melihat struktur kristal. Hal ini digunakan untuk mengetahui sifat fasa. Fasa merupakan bagian kelompok yang memiliki struktur Kristal yang sama.
- d) Analisa Kekerasan  
Analisa kekerasan dilakukan dengan melihat nilai kekerasan benda coran yang dibandingkan dengan



rentang kekerasan sesuai standar material hasil coran. Sehingga dapat dianalisa pengaruh variasi komposisi terhadap kekerasan material.

### 3.3 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Baja AISI 1006  
Baja ini diperoleh dari scrap metal berbentuk plat dengan tebal 3 mm yang digunakan untuk keperluan umum Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Digolongkan sebagai AISI 1006 dilihat dari hasil pengujian komposisi dengan OES dan standar ASTM A830.
2. *Ferromangan medium karbon*  
Ferromangan pada penelitian ini digunakan jenis *medium carbon grade B* sesuai standar ASTM A99. Ferromangan ini didapatkan dari PT Makmur Meta Graha Dinamika dengan kadar mangan 76.25%
3. *Ferrochrome low karbon*  
Ferrochrome pada penelitian ini digunakan jenis *low carbon grade D* sesuai standar ASTM A101. Ferrochrome ini didapatkan dari PT Makmur Meta Graha Dinamika dengan kadar kromium 69%
4. Nikel *sheet* (Ni)  
Nikel yang digunakan dalam penelitian ini berupa nikel dalam bentuk lembaran untuk aplikasi material elektronik. Kadar nikel pada material ini 99% sesuai dengan standar ASTM 162
5. Bahan Etsa  
Bahan etsa yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga jenis yaitu glseregia, nital dan pikral sesuai standar ASTM E407
  - a. HCl
  - b. Asam pikrik
  - c. HNO<sub>3</sub>





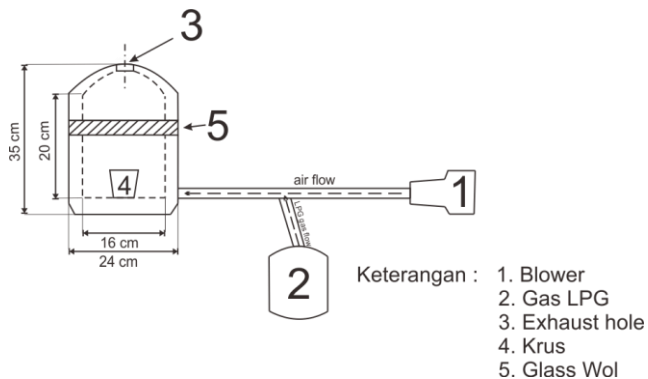
- d. Gliserol
- e. Ethanol (95%)

### 3.4 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

#### 1. *Furnace*

Furnace yang digunakan untuk melelehkan dan memadukan bahan merupakan tungku bakar yang ditunjukkan pada gambar 3.2 Burner yang digunakan adalah mmilik Lab.Inovatif Material Teknik Material dan Metalurgi ITS. Diameter luar 24 cm dan diameter dalam 16 cm. Tinggi silinder bagian dalam 20 cm. Tinggi burner 34 cm. Panjang pipa 150 cm. Blower dengan kecepatan 9000 rpm.



**Gambar 3.2** Skema tungku burner

#### 2. *Crusible*

Alat ini digunakan sebagai wadah bahan lebur saat proses pemaduan. Crucible yang digunakan adalah krusibel grafit ukuran satu kilogram.

#### 3. Gergaji



- Digunakan untuk memotong bahan serta specimen hasil coran.
4. Gelas Ukur 250 ml  
Alat ini digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa.
  5. Beaker Glass  
Digunakan untuk wadah mencampur bahan etsa.
  6. Timbangan  
Digunakan untuk mengukur massa bahan lebur.
  7. Stirrer baja  
Digunakan untuk menghomogenkan paduan saat proses pelelehan.
  8. Kertas Amplas  
Digunakan untuk grinding specimen pada uji metalografi. Digunakan kertas amplas *grade* 80 hingga 2000.
  9. Gergaji Mesin  
Digunakan untuk memotong bahan lebur ataupun hasil coran
  10. Alat Uji Kekerasan *Universal*  
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan spesimen
  11. OES (*Optical Emission Spectroscopy*)  
Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran
  12. XRD  
Alat ini digunakan untuk mengetahui system Kristal, struktur Kristal serta fasa dari hasil coran
  13. Mesin *Grinding & Polishing*  
Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing specimen dalam uji metalografi.
  14. Mikroskop Metalurgi  
Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro specimen.



### **3.5 Prosedur Percobaan**

Preparasi spesimen dilakukan dengan menyiapkan bahan berupa AISI 1006, ferromangan medium karbon ,ferrokrom low carbon dan nikel (Ni). Nikel ditambahkan dengan presentase berat 6, 8,10 dan 12 %. Baja AISI 1006, ferrochrome, ferromangan dan nikel ditimbang sesuai perhitungan komposisi material balance. Kemudian diletakkan pada krusibel grafit dengan metode sandwich. Langkah selanjutnya yaitu meletakkan krusibel di tungku bakar. Selanjutnya memasukkan kokas disekeliling krusibel dalam tungku bakar. Setelah itu menyalakan tungku bakar. Pembakaran awal akan banyak mengeluarkan asap sulfur pembakaran kokas. Lima belas menit setelah pembakaran awal asap akan mulai berkurang dan tungku akan menyala semakin terang. Setelah empat puluh menit dilakukan pengecekan kondisi material lebur, pada waktu ini bahan lebur sebagian sudah mencair namun belum benar- benar cair dalam kondisi superheat ( +200 derajat dari temperatur lebur ). Setelah benar- benar leleh sempurna gas bakar tungku dimatikan. Krusibel dikeluarkan dari furnace setelah tungku benar benar dingin. Benda coran dikeluarkan dari krusibel kemudian dipotong sesuai kebutuhan specimen uji.

### **3.6 Proses Pengujian**

Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi oleh OES, Pengujian metalografi untuk melihat strukturmikro. Hardness test untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk

#### **3.6.1 Pengujian OES**

Pengujian OES, *Optical Emission Spectroscopy*, adalah pengujian dengan menembakkan electron pada bidang datar specimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang unik yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan database yang ada. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang



tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di PT. Barata Indonesia *Foundry Unit* Gresik dengan standar database stainless steel. Pengujian dilakukan tiga kali penembakan.

### **3.6.2 Pengujian Metalografi**

Metalografi adalah suatu metode pengujian untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Hal ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Pada penelitian ini perbesaran yang digunakan yaitu 5-50 kali perbesaran lensa objektif..

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikronya. Adapun larutan etsa yang digunakan sesuai ASTM E-407 yaitu menggunakan gliseregia, nital dan pikral.

### **3.6.3 Pegujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni pengujian kekerasan dengan metode Brinell. Pengujian kekerasan Brinell mempunyai cakupan yang luas sehingga dapat digunakan untuk material yang sangat lunak maupun material yang sangat keras.

Pengujian kekerasan brinell dilakukan sesuai dengan standar ASTM E10. Diameter indenter yang digunakan sebesar 2,5 mm. Dengan pembebanan sebesar 62,5 kgf. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan diameter indentasi yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 3.2.



$$\frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} = BHN \quad (3.2)$$

Dengan P adalah pembebanan dalam satuan kgf,  $\pi$  adalah tetapan yakni sebesar 3,14. D adalah diameter indenter dalam satuan mm, dan d adalah diameter indentasi dalam satuan mm.

### **3.6.4 Pengujian XRD**

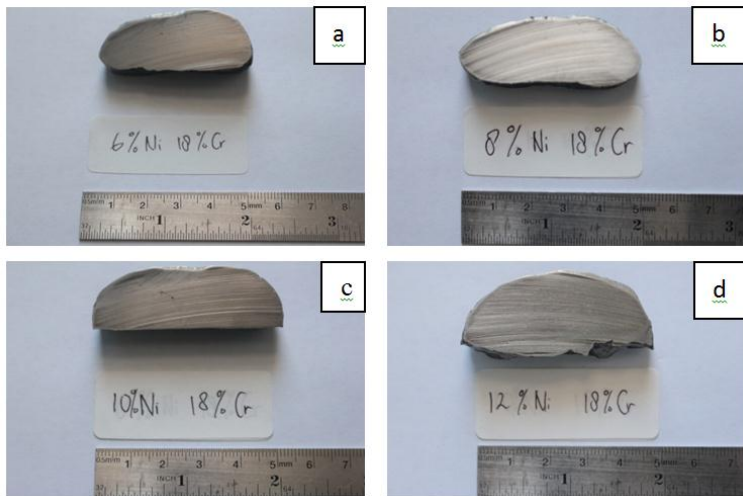
Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Fe-18Cr-xNi yang sudah terbentuk selama proses melting. Adapun kemungkinan fasa yang akan muncul adalah Austenit Fe-18Cr-xNi hal ini karena pengaruh jumlah nikel.

Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD). Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Paduan Fe-Cr-Ni

Hasil coran berbentuk isi dari krusibel grafit . Gambar 4.1 menampilkan potongan bagian penampang hasil coran. Pengamatan gambar menunjukkan bahwa tidak terjadi segregasi pada spesimen sehingga ini membuktikan bahwa paduan Fe-Cr-Ni telah tercampur.



**Gambar 4.1** Paduan Fe-Cr-Ni dengan 18% wt Cr dan (a) 6 (b) 8 (c) 10 (d) 12 % wt Ni

### 4.2 Komposisi Kimia Paduan Fe-Cr-Ni

Pengujian Komposisi kimia coran Fe-Cr-Ni dilakukan menggunakan *optical emission spectroscopy (OES)* di PT Barata Indonesia. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi paduan yang didapat dari *OES*. Pada paduan Fe-18Cr-6Ni penambahan 18% berat Cr dan 6% berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi 70.7% Fe, 18.2% Cr dan



5.98% Ni. Penambahan 18% berat Cr dan 8% berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi 70.3% Fe, 17.4 %Cr , 8.4% Ni. Penambahan 18% berat Cr dan 10% berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi 67.4% Fe , 18.2 % Cr 9.01% Ni. Penambahan 18% berat Cr dan 12% berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi kimia 62.2% Fe, 19.5% Cr, 9.85% Ni.

**Tabel 4.1** Komposisi Fe-Cr-Ni Pengujian OES

| Spesimen     | Fe   | Cr   | Ni   | Mn   | C    | Si    | others |
|--------------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| Fe-18Cr-6Ni  | 70.7 | 18.2 | 5.98 | 1.48 | >2   | 0.618 | 0.982  |
| Fe-18Cr-8Ni  | 70.3 | 17.4 | 8.4  | 1.29 | 1.43 | 0.745 | 0.395  |
| Fe-18Cr-10Ni | 67.4 | 18.2 | 9.01 | 1.55 | >2   | 0.409 | 1.391  |
| Fe-18Cr-12Ni | 62.2 | 19.5 | 9.85 | 1.85 | >2   | 0.553 | 4.015  |

Penambahan paduan yang dilakukan adalah penambahan, *ferrochrome*, *ferromangan* dan nikel. Dalam hal ini pemaduan dilakukan dengan menghitung *mass balance* dari tiap bahan lebur yang akan dimasukkan sehingga penambahan unsur sesuai dengan yang diharapkan

**Tabel 4.2** Komposisi Perhitungan Bahan Lebur

| Spesimen     | Komposisi Perhitungan |       |       |      |      |
|--------------|-----------------------|-------|-------|------|------|
|              | Fe                    | Cr    | Ni    | C    | Mn   |
| Fe-18Cr-6Ni  | 73.42                 | 18.02 | 6.02  | 0.08 | 2.01 |
| Fe-18Cr-8Ni  | 71.28                 | 18.02 | 8.02  | 0.09 | 2.13 |
| Fe-18Cr-10Ni | 69.40                 | 18.02 | 10.02 | 0.08 | 2.00 |
| Fe-18Cr-12Ni | 67.39                 | 18.02 | 12.02 | 0.08 | 2.00 |

Penambahan paduan yang dilakukan saat peleburan belum pasti sama persis dengan hasil coran. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu temperatur peleburan,



kadar dari paduan lebur dan metode peleburan akan memengaruhi hasil akhir komposisi benda coran.

**Tabel 4.3** Komposisi Hasil Lebur

| Spesimen     | Komposisi Hasil Coran |       |      |      |      |
|--------------|-----------------------|-------|------|------|------|
|              | Fe                    | Cr    | Ni   | C    | Mn   |
| Fe-18Cr-6Ni  | 70.70                 | 18.20 | 5.98 | >2   | 1.48 |
| Fe-18Cr-8Ni  | 70.30                 | 17.40 | 8.40 | 1.43 | 1.29 |
| Fe-18Cr-10Ni | 67.40                 | 18.20 | 9.01 | >2   | 1.55 |
| Fe-18Cr-12Ni | 62.20                 | 19.50 | 9.85 | >2   | 1.85 |

Faktor-faktor yang dapat menjadi penyebab hasil pengukuran yang tidak sesuai antara lain preparasi sampel. Preparasi sampel dan pemilihan posisi titik yang memiliki morfologi baik. Pengambilan 1 titik pada seluruh permukaan sampel tersebut berpengaruh pada hasil pengujian.

### **4.3 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan coran paduan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan brinell dengan standar ASTM E10. Menggunakan bola baja dengan diameter 2,5 mm dan beban 187.5 kgf.

Tabel 4.2 dan Gambar 4.4 menunjukkan nilai kekerasan terhadap penambahan Nikel pada Fe-Cr-Ni. Pengujian dilakukan pada 4 indentasi untuk setiap 1 spesimen sehingga didapat 4 nilai kekerasan brinell. Perhitungan nilai kekerasan diperoleh dari rata-rata nilai kekerasan brinell untuk setiap spesimen. Diameter indentasi pada spesimen uji semakin menurun seiring dengan naiknya prosentase nikel dalam paduan. Hal ini menyebabkan nilai kekerasan brinell semakin naik dengan bertambahnya kadar Nikel dalam paduan.



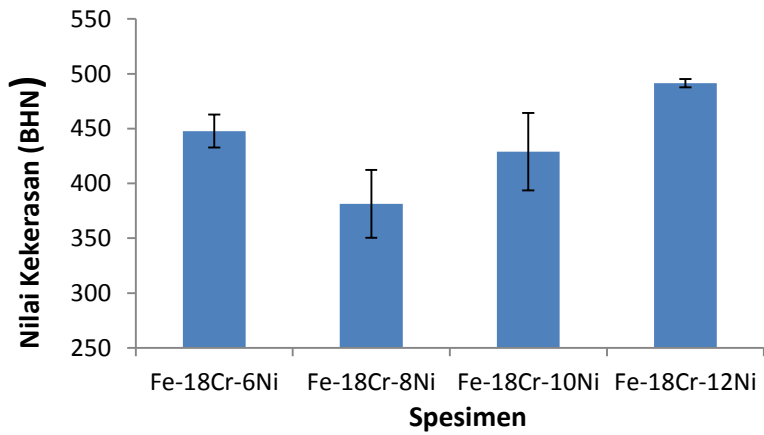


**Tabel 4.4** Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni

| Spesimen     | Rata Rata    |
|--------------|--------------|
| Fe-18Cr-6Ni  | 447.75±15.08 |
| Fe-18Cr-8Ni  | 345.75±30.82 |
| Fe-18Cr-10Ni | 434±35.35    |
| Fe-18Cr-12Ni | 454.25±3.78  |

Diameter indentasi yang didapat dari hasil pengujian pada spesimen tidak selalu sama antara satu sumbu dengan sumbu lainnya. Hal ini terjadi karena terdapat kesulitan untuk menentukan tepi dari hasil indentasi pada spesimen uji namun perbedaan diameter ini masih dalam skala  $10^{-5}$  m sehingga hanya memberi sedikit pengaruh pada hasil akhir perhitungan.

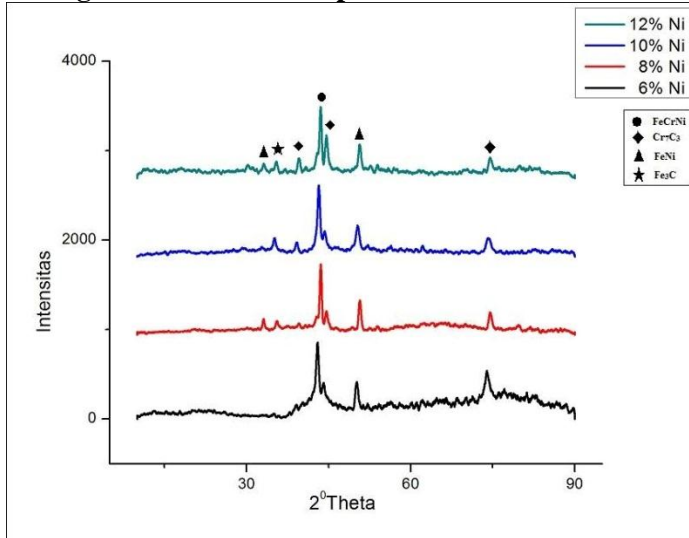
Gambar 4.2 menunjukkan nilai kekerasan brinell meningkat dengan bertambahnya presentase nikel dalam paduan. Nilai kekerasan pada AISI 1006 awal adalah tanpa penambahan yaitu 118 HB. Pada Fe-18Cr-6Ni menghasilkan kekerasan 447.5 HB. Kekerasan pada Fe-18Cr-8Ni yaitu 345.75 HB, sedangkan pada Fe-18Cr-10Ni nilai kekerasannya 434 HB. Kekerasan pada Fe-18Cr-12Ni yaitu 454.25 HB. Peningkatan kekerasan terjadi sangat signifikan karena pada saat penambahan paduan Cr, Ni serta terjadi penambahan kadar karbon pada paduan. Penambahan ini terjadi akibat penggunaan krusibel grafit pada saat peleburan. Dengan adanya karbon yang mencapai lebih dari 2%wt akan memudahkan membentuk karbida. Karbida krom juga menjadi sangat mudah terbentuk akibat banyaknya karbon dan karena kromium merupakan unsur pembentuk karbida yang yang baik.



**Gambar 4.2** Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Ni



#### 4.4 Pengamatan Hasil XRD paduan Fe-Cr-Ni



**Gambar 4.3** Hasil XRD

Pada hasil XRD yang terdapat ada empat fasa yang terbentuk. Hal itu diwakili oleh tujuh *peak* yang muncul pada hasil XRD. Hasil tersebut diperoleh dari menganalisa *peak* XRD dengan cara manual lewat aplikasi PCPDF.win. Analisa dilakukan dengan mencari *peak* dari fasa yang memungkinkan untuk terbentuk pada paduan Fe-Cr-Ni.

Pada fasa yang terdeteksi terdapat empat fasa yaitu FeCrNi dan  $\gamma$ FeNi yang merupakan fasa berbentuk kristal FCC yang berarti merupakan austenit. Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> merupakan karbida krom yang terbentuk karena krom lebih dari 12% wt. Fe<sub>3</sub>C merupakan karbida besi yang terbentuk pada besi tuang putih pada umumnya.

Hasil menunjukkan pada *peak* pertama 33.07 teridentifikasi sebagai  $\gamma$ FeNi (pdf nomor 180877). *Peak* kedua 35.53 teridentifikasi sebagai Fe<sub>3</sub>C (pdf nomor 850871). *Peak* ketiga 39.59 teridentifikasi sebagai Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (pdf nomor



361482). *Peak* keempat 43.54 teridentifikasi sebagai  $\text{Cr}_0.19\text{Fe}_0.7\text{Ni}_0.11$  (pdf nomor 330397). *Peak* lima 44.6 teridentifikasi sebagai  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  (pdf nomor 361482). *Peak* enam 50.72 teridentifikasi sebagai  $\gamma\text{FeNi}$  (pdf nomor 180646). Terakhir *peak* tujuh 74.52 teridentifikasi sebagai  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  (Bedolla-Jacuinde, 2015)

Dari hasil XRD pada gambar 4.3 hasil uji XRD pada coran Fe-Cr-Ni tampak perubahan tinggi *peak* yang signifikan yaitu munculnya *peak* 33  $\gamma\text{FeNi}$  pada Fe-18Cr-8Ni yang tidak ada pada 18Cr6Ni kemudian hilang pada Fe-18Cr-10Ni dan muncul kembali pada Fe-18Cr-12Ni. Fasa  $\gamma\text{FeNi}$  yang ada pada *peak* ini berbentuk kristal FCC yang berarti fasa austenite. Fasa  $\gamma\text{FeNi}$  ini juga merupakan fasa pada *peak* 50. Terlihat pada 18Cr6Ni *peak* ini lebih tinggi karena  $\gamma\text{FeNi}$  lebih terdeteksi.

Dapat diamati bahwa ada kecenderungan dengan naiknya kadar nikel. Pada *peak* 39 dan 44 ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) naik namun karbida krom ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) pada *peak* 74 mengalami penurunan intensitas. *Peak* 35 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) juga naik seiring kenaikan kadar nikel pada paduan.

#### **4.5 Pengamatan Struktur Mikro Coran**

Pengujian Metalografi dilakukan sesuai standar ASTM E407. Larutan etsa yang digunakan adalah gliseregia. Gliseregia dibuat sesuai standar dengan 6mL gliserol ditambah 4mL asam nitrat serta ditambahkan 6mL HCl. Etsa dilakukan dengan mencelupkan spesimen pada air panas untuk menghilangkan lapisan oksida krom yang melindungi kemudian dietsa  $\pm 20$  detik pada gliseregia.

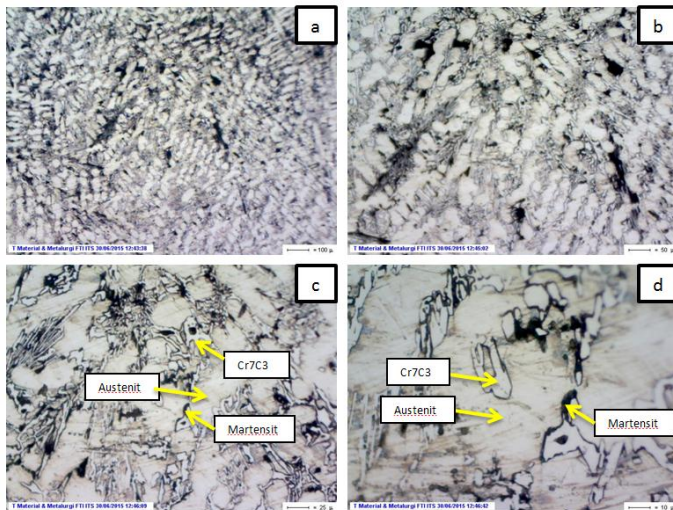
Paduan Fe-Cr-Ni dengan kadar karbon lebih dari 2% akan membentuk struktur besi tuang. Dengan kadar kromium lebih dari 10% maka akan cenderung membentuk karbida saat solidifikasi.  $\text{M}_7\text{C}_3$  adalah karbida berbentuk *hexagonal*, seperti pedang pada struktur kristal. Pada kadar nikel yang cukup, nikel akan membuat austenit stabil sehingga temperatur



kamar. Karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) juga akan terbentuk dalam paduan Fe-Cr-Ni.  $\text{Fe}_3\text{C}$  akan terbentuk akibat fasa liquid pada pembekuan paduan mengalami reaksi eutektik. Pada paduan Fe-Cr-Ni *high chromium white cast iron*  $\text{Fe}_3\text{C}$  akan sulit terlihat karena jumlahnya yang minor.

Kadar nikel (Ni) yang relatif lebih tinggi (6-12 %wt) pada sampel mengakibatkan banyaknya terbentuk fasa austenit yaitu berupa  $\text{Cr}_{0.19}\text{Fe}_{0.7}\text{Ni}_{0.11}$  yang memiliki bentuk kristal FCC.

Sampel Fe-18Cr-6Ni merupakan spesimen yang memiliki kadar nikel paling kecil dalam paduan. Pada hasil struktur mikro fasa yang terbentuk adalah austenit  $\text{Cr}_{0.19}\text{Fe}_{0.7}\text{Ni}_{0.11}$ . Fasa ini berkrystal FCC. Austenit pada paduan ini ada pada bentuk dendrit. Matriks dari paduan ini adalah austenit sedangkan karbida sebagai *rainforce*. Karbida krom terbentuk pada matriks tersebar diantara austenit. Fasa austenit dan karbida krom dapat dilihat pada gambar 4.4

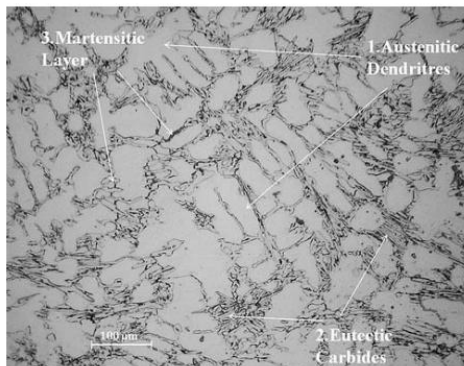


**Gambar 4.4** Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-6Ni Perbesaran  
(a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 Kali



Paduan Fe-18Cr-6Ni merupakan paduan hipoeutektik. Hal tersebut dibuktikan dengan bentuk strukturmikro sesuai dengan besi tuang hipoeutektik pada gambar 2.8. Pada Fe-18Cr-6Ni terdapat fasa martensit yang terletak pada tepi dendrit austenit. Martensit muncul diantara austenite dan karbida krom. Martensit dapat terbentuk karena naiknya temperature pembentukan martensit ( $M_s$ , *martensite start*) pada daerah kontak austenite dan karbida. Dalam hal ini morfologi martensit terlihat pada daerah yang gelap.

Paduan Fe-18Cr-6Ni memiliki bentuk dendrit austenite yang lebih kecil daripada paduan Fe-Cr-Ni pada gambar 4.5. Gambar 4.5 merupakan paduan Fe-Cr-Ni yang hipoeutektik dengan kadar nikel yang rendah.

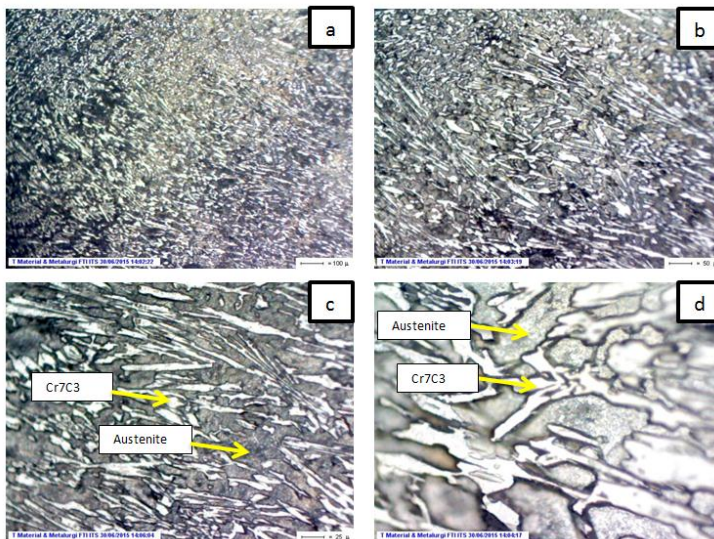


**Gambar 4.5** Strukturmikro Paduan Fe-Cr-Ni dengan 2.35%C, 18.23%Cr, 0.35%Ni Perbesaran 50x (Lekatou, 2009)

Fe-18Cr-8Ni merupakan sampel dengan kadar C pada paduan yang kurang dari 2%. Pada hasil struktur mikro, fasa yang terbentuk adalah fasa austenite, martensit dan karbida krom. Sama seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa martensit terbentuk dibatas karbida dan matriks austenit. Matriks pada paduan Fe-18Cr-8Ni adalah austenit-martensit. Hal ini mengacu pada gambar 2.7 *white cast iron high*



*chromium*. Paduan Fe-18Cr-8Ni juga merupakan paduan eutektik menurut gambar 2.8. Paduan ini memiliki karbida yang relatif lebih kecil ukurannya dibandingkan gambar 2.7. Martensit pada paduan ini ditunjukkan pada bagian yang gelap. Martensit relatif lebih banyak dari gambar 2.8 karena jumlah kadar karbon pada paduan hanya 1.43% wt C. Hal ini menyebabkan martensit lebih mudah terbentuk pada paduan. Martensit terbentuk karena kadar karbon yang rendah membuat tempratur  $M_s$  lebih tinggi.



**Gambar 4.6** Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-8Ni Perbesaran (a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 Kali

Pada sample Fe-18Cr-10C, hasil struktur mikro terbentuk fasa austenit dan karbida kromium. Karbida krom terbentuk tersebar pada matriks austenit. Pada bentukdendrit adalah austenite. Karbida krom akan tersebar disekitar dendrit austenite. Hal tersebut mengacu pada gambar 2.6. Bentuk strukturmikro dendritic juga mengindikasikan bahwa paduan

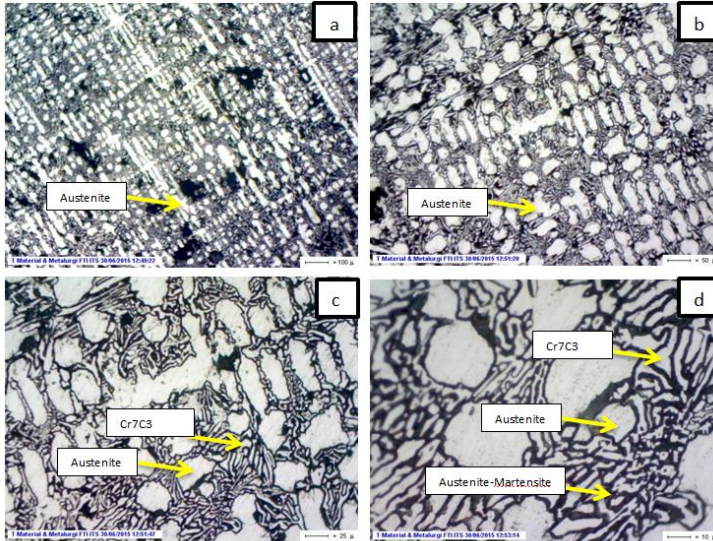


## LAPORAN TUGAS AKHIR

AINUN ZULFIKAR (2711100073)



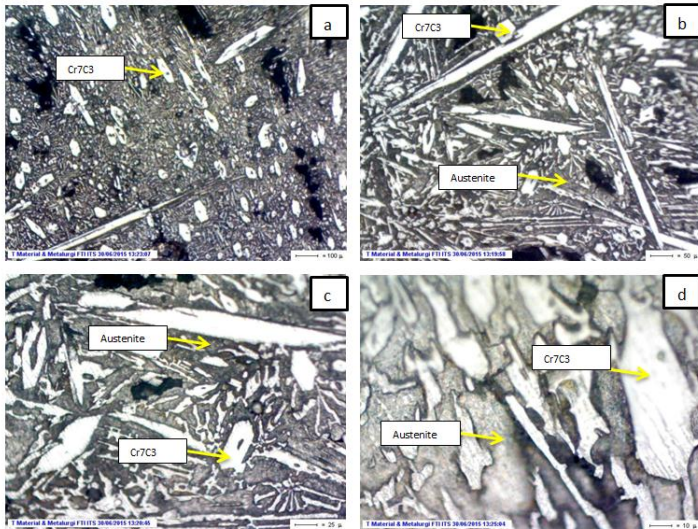
Fe-18Cr-10Ni merupakan paduan hipoeutektik sesuai gambar 2.8. Dibandingkan dengan gambar 2.8 paduan Fe-18Cr-10Ni memiliki butir austenite yang lebih besar.



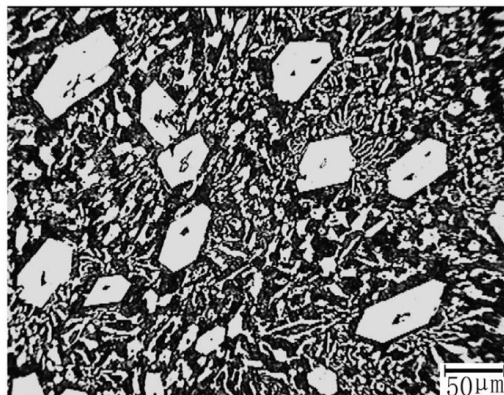
**Gambar 4.7** Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-10Ni  
Perbesaran (a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 Kali

Pada sample Fe-18Cr-12C, hasil struktur mikro terbentuk adalah matriks austenite-martensit dan karbida kromium. Karbida krom terbentuk adalah karbida  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  berbentuk *hexagonal*. Paduan ini dapat berbentuk hipereutektik sesuai gambar 2.8. Paduan ini juga relatif memiliki karbida krom yang lebih kecil dari gambar 4.9.





**Gambar 4.8** Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-12Ni  
Perbesaran (a) 50 (b) 100 (c) 200 (d) 500 Kali



**Gambar 4.9** Strukturmikro *High Chromium White Cast Iron*  
dengan 4.17%C, 19.40%Cr, Perbesaran 100x (Zhi, 2014)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Penambahan nikel (Ni) pada paduan Fe-Cr-Ni dapat meningkatkan nilai kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada paduan Fe-18Cr-12Ni, yaitu  $454.25 \pm 3.78$  HB.
2. Penambahan nikel (Ni) paduan Fe-Cr-Ni dapat mempengaruhi bentuk morfologi karbida krom dan austenit. Dengan bertambahnya nikel maka ukuran butir austenite dan karbida krom semakin kecil.

#### **5.2 Saran**

Penelitian selanjutnya disarankan :

1. Penggunaan krusibel grafit pada saat peleburan tidak disarankan karena grafit akan larut pada paduan menyebabkan kenaikan kadar karbon pada paduan
2. Penggunaan furnace dengan metode burner menyebabkan banyak terbentuk oksida sehingga disarankan untuk menggunakan furnace listrik (arc furnace atau induction furnace)
3. Pengujian SEM diperlukan untuk melihat struktur martensit yang terbentuk.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- \_ . 1990. **ASM Metal Handbook ,Vol 1 Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys** . The Materials Informtion Company.
- \_ . 1990. **ASM Metals Handbook, Vol 02 Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials**. The Materials Information Company.
- \_ . 1992. **ASM Metals Handbook, Vol 03 - alloy phase diagram**. The Materials Information Society.
- Avner, S. H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy**. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Bahdesia, H. 2006. **Steel Microstructure and Properties**. Burlington: Elsevier.
- Banga, T. 1981. **Foundry Engineering**. New Delhi: Khanna Publisher.
- Bedolla-Jacuinde, A. 2015. "Abrasive wear of V–Nb–Ti alloyed high-chromium white irons". **Wear** : 1006-1011.
- Bogaerts, P. W. 2008. **Materials Engineering for the Chemical Process Industries**. Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, inc.
- Brady, G. S. 2002. **Materials Handbook Fifteenth Edition**. New York : McGraw-Hill Company.
- Callister, W. D. 1940. **Material Science and Engineering and Introduction**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Chijjiwa, K. 2006. **Teknik Pengecoran Logam**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

- Davis, J. 1992. **ASM Metals Handbook, Vol 03 - alloy phase diagram**. The Materials Information Society.
- Jessen, C. Q. 2011. **Stainless Steel and Corrosion**. Forlaget Moller & Nielsen.
- Kementrian Koordiantor Bidang Perekonomian. 2011. Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia. Dalam K. K. Perekonomian, **Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia : 65-67**). Jakarta: Kementrian Koordiantor Bidang Perekonomian.
- Lekatou, A. 2009. "Microstructural Modification of As-Cast High-Chromium White Iron by Heat Treatment". **Journal of Materials Engineering And Performance : 174-181**.
- Outokompu Oyj. 2013. **Handbook of Stainless Steel**. Avesta: Sandvikens Trykeri AB.
- Pakusova, M. 2014. "Abrasion Resistance of as-Cast High-Chromium Cast Iron". **Scientific Proceedings Faculty of Mechanical Engineering 22.1 : 75-80**.
- Schwartz, M. 2002. **Encyclopedia of Materials Parts and Finishes**. Florida: CRC Press.
- Sudjana, H. 2008. **Teknik pengecoran untuk SMK**. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Surdia, T. 1999. **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Zhi, X. 2014. "Effect of Cerium Modification on Microstructure and Properties of Hypereutectic High Chromium Cast Iron". **Material Science & Engineering : 98-103**.

## LAMPIRAN

### Lampiran A :

### Spesifikasi Material Lebur

### Baja scrap AISI 1006

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM DT NDT

#### OES Chemical Results

Sample ID : 1 Material : CARBON STEEL  
Customer : ADHA ISORI HARTATA Dimension : -  
Lab-no. : UJI BAHAN Heat-no. : -  
Operator : ELHAM Ka. Laboratorium : M.THORIQ WAHYUDI  
Date: 3/31/2015

#### Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

|     | Fe   | C      | Si     | Mn    | P      | S      | Cr     | Mo       |
|-----|------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|----------|
| 1   | 99.5 | 0.0376 | 0.0205 | 0.211 | 0.0084 | 0.0089 | 0.0304 | < 0.0050 |
| 2   | 99.5 | 0.0373 | 0.0199 | 0.208 | 0.0082 | 0.0079 | 0.0253 | < 0.0050 |
| 3   | 99.5 | 0.0324 | 0.0195 | 0.211 | 0.0086 | 0.0072 | 0.0270 | < 0.0050 |
| Ave | 99.5 | 0.0358 | 0.0200 | 0.210 | 0.0091 | 0.0080 | 0.0276 | < 0.0050 |

|     | Ni     | Al     | Co       | Cu     | Nb     | Ti       | V        | W        |
|-----|--------|--------|----------|--------|--------|----------|----------|----------|
| 1   | 0.0305 | 0.0464 | < 0.0050 | 0.0363 | 0.0103 | 0.0066   | < 0.0050 | < 0.0050 |
| 2   | 0.0308 | 0.0449 | < 0.0050 | 0.0377 | 0.0122 | < 0.0050 | < 0.0050 | < 0.0050 |
| 3   | 0.0264 | 0.0450 | < 0.0050 | 0.0384 | 0.0196 | < 0.0050 | < 0.0050 | < 0.0050 |
| Ave | 0.0292 | 0.0454 | < 0.0050 | 0.0375 | 0.0140 | < 0.0050 | < 0.0050 | < 0.0050 |

|     | Pb       |
|-----|----------|
| 1   | < 0.0050 |
| 2   | < 0.0050 |
| 3   | < 0.0050 |
| Ave | < 0.0050 |

## FerroChrome

### CERTIFICATE OF ANALYSIS AND WEIGHT

Our Invoice No. : X 489

Order No. : #OI14000243

Material : Low Carbon Ferro Chrome 010

Size : 10 - 50mm (90% min.)

We hereby certify that the weight and the chemical analysis of the above material is as follows:-

**Chemical Analysis:**

Cr : 69.00%  
C : 0.067%  
Si : 0.90%  
S : 0.010%  
P : 0.028%



Weight: 25.000 mt nett in 1 metric ton bulk bags.

Sailing ex Vostochny to Jakarta per 'Hyundai Future' Voy. 472 on 4 September 2014.



For and on behalf of  
INNOMET

FerroManganese

Name of Goods: MEDIUM CARBON FERRO MANGANESE

Buyer : PT MAKMUR META GRAHA DINAMIKA

JL. ROA MALAKA SELATAN NO. 28/10

JAKARTA 11230

SIMPAC METAL CO. LTD

438 JEONGMI-RO, JEONGMI-M

CHUNGCHBONGNAM-DO, 343-

|          | Chemical Composition(%) |      |      |       |        | Size(%) |         |       | Remarks |
|----------|-------------------------|------|------|-------|--------|---------|---------|-------|---------|
|          | Mn                      | Si   | C    | P     | S      | -10mm   | 10-50mm | +50mm |         |
| FeMn(MC) | 76.25                   | 0.35 | 1.92 | 0.201 | 0.0031 | 3.30    | 96.54   | 0.16  |         |



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**Lampiran B:**

**Perhitungan Komposisi Paduan**

**Paduan 18Cr6Ni**

| Bahan Baku               | Komposisi Bahan Lebur |       |      |       |      |      |       |       | Jumlah<br>(Gram) | Jumlah<br>(%) | Kontribusi Terhadap Paduan |      |      |      |      |      |       |      |
|--------------------------|-----------------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------------------|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
|                          | Fe                    | C     | Si   | Mn    | P    | S    | Cr    | Ni    |                  |               | Fe                         | C    | Si   | Mn   | P    | S    | Cr    | Ni   |
| AISI 1006                | 99.50                 | 0.03  | 0.02 | 0.21  | 0.01 | 0.01 | 0.03  | 0.03  | 130.79           | 65.40         | 65.07                      | 0.02 | 0.01 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | 0.02  | 0.02 |
| FerroChrome              | 30.00                 | 0.07  | 0.90 | 0.00  | 0.03 | 0.01 | 69.00 | 0.00  | 52.17            | 26.09         | 7.83                       | 0.02 | 0.23 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 18.00 | 0.00 |
| FerroMangan              | 21.30                 | 1.92  | 0.35 | 76.25 | 0.20 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 4.91             | 2.46          | 0.52                       | 0.05 | 0.01 | 1.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 |
| Nikel                    | 0.00                  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 99.00 | 12.12            | 6.06          | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 6.00 |
| Carbon (Crucible Grafit) | 0.00                  | 99.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |                  | 0.00          | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 |
| Subtotal                 |                       |       |      |       |      |      |       |       | 200              | 100           | 73.42                      | 0.08 | 0.26 | 2.01 | 0.02 | 0.01 | 18.02 | 6.02 |

**Paduan 18Cr8Ni**

| Bahan Baku               | Komposisi Bahan Lebur |       |      |       |      |      |       |       | Jumlah<br>(Gram) | Jumlah<br>(%) | Kontribusi Terhadap Paduan |      |      |      |      |      |       |      |
|--------------------------|-----------------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------------------|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
|                          | Fe                    | C     | Si   | Mn    | P    | S    | Cr    | Ni    |                  |               | Fe                         | C    | Si   | Mn   | P    | S    | Cr    | Ni   |
| AISI 1006                | 99.50                 | 0.03  | 0.02 | 0.21  | 0.01 | 0.01 | 0.03  | 0.03  | 126.42           | 63.21         | 62.89                      | 0.02 | 0.01 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 0.02  | 0.02 |
| FerroChrome              | 30.00                 | 0.07  | 0.90 | 0.00  | 0.03 | 0.01 | 69.00 | 0.00  | 52.17            | 26.09         | 7.83                       | 0.02 | 0.23 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 18.00 | 0.00 |
| FerroMangan              | 21.30                 | 1.92  | 0.35 | 76.25 | 0.20 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 5.25             | 2.62          | 0.56                       | 0.05 | 0.01 | 2.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00  | 0.00 |
| Nikel                    | 0.00                  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 99.00 | 16.16            | 8.08          | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 8.00 |
| Carbon (Crucible Grafit) | 0.00                  | 99.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |                  | 0.00          | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 |
| Subtotal                 |                       |       |      |       |      |      |       |       | 200              | 100           | 71.28                      | 0.09 | 0.26 | 2.13 | 0.02 | 0.01 | 18.02 | 8.02 |

**Paduan 18Cr10Ni**

| Bahan Baku               | Komposisi Bahan Lebur |       |      |       |      |      |       |       | Jumlah<br>(Gram) | Jumlah<br>(%) | Kontribusi Terhadap Paduan |      |      |      |      |      |       |       |
|--------------------------|-----------------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------------------|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                          | Fe                    | C     | Si   | Mn    | P    | S    | Cr    | Ni    |                  |               | Fe                         | C    | Si   | Mn   | P    | S    | Cr    | Ni    |
| AISI 1006                | 99.50                 | 0.03  | 0.02 | 0.21  | 0.01 | 0.01 | 0.03  | 0.03  | 122.71           | 61.36         | 61.05                      | 0.02 | 0.01 | 0.13 | 0.01 | 0.00 | 0.02  | 0.02  |
| FerroChrome              | 30.00                 | 0.07  | 0.90 | 0.00  | 0.03 | 0.01 | 69.00 | 0.00  | 52.17            | 26.09         | 7.83                       | 0.02 | 0.23 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 18.00 | 0.00  |
| FerroMangan              | 21.30                 | 1.92  | 0.35 | 76.25 | 0.20 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 4.91             | 2.46          | 0.52                       | 0.05 | 0.01 | 1.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |
| Nikel                    | 0.00                  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 99.00 | 20.20            | 10.10         | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 10.00 |
| Carbon (Crucible Grafit) | 0.00                  | 99.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |                  | 0.00          | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |
| Subtotal                 |                       |       |      |       |      |      |       |       | 200              | 100           | 69.40                      | 0.08 | 0.26 | 2.00 | 0.02 | 0.01 | 18.02 | 10.02 |

**Paduan 18Cr12Ni**

| Bahan Baku               | Komposisi Bahan Lebur |       |      |       |      |      |       |       | Jumlah<br>(Gram) | Jumlah<br>(%) | Kontribusi Terhadap Paduan |      |      |      |      |      |       |       |
|--------------------------|-----------------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------------------|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                          | Fe                    | C     | Si   | Mn    | P    | S    | Cr    | Ni    |                  |               | Fe                         | C    | Si   | Mn   | P    | S    | Cr    | Ni    |
| AISI 1006                | 99.50                 | 0.03  | 0.02 | 0.21  | 0.01 | 0.01 | 0.03  | 0.03  | 118.67           | 59.34         | 59.04                      | 0.02 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.00 | 0.02  | 0.02  |
| FerroChrome              | 30.00                 | 0.07  | 0.90 | 0.00  | 0.03 | 0.01 | 69.00 | 0.00  | 52.17            | 26.09         | 7.83                       | 0.02 | 0.23 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 18.00 | 0.00  |
| FerroMangan              | 21.30                 | 1.92  | 0.35 | 76.25 | 0.20 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 4.91             | 2.46          | 0.52                       | 0.05 | 0.01 | 1.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |
| Nikel                    | 0.00                  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 99.00 | 24.24            | 12.12         | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 12.00 |
| Carbon (Crucible Grafit) | 0.00                  | 99.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |                  | 0.00          | 0.00                       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 0.00  |
| Subtotal                 |                       |       |      |       |      |      |       |       | 200              | 100           | 67.39                      | 0.08 | 0.26 | 2.00 | 0.02 | 0.01 | 18.02 | 12.02 |
| Komposisi Paduan         |                       |       |      |       |      |      |       |       |                  |               | 62.20                      | 2.00 | 0.55 | 1.85 | 0.02 | 0.14 | 19.50 | 9.85  |

## Paduan 18Cr6Ni

X



# Paduan 18Cr10Ni



UNIT FOUNDRY GRESIK

## Chemical Results

Sample No : Sampel F

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No :

Material :

| Spectroanalyser Foundry-MASTER |          |        |          | Grade : |          |        |          |          |        |
|--------------------------------|----------|--------|----------|---------|----------|--------|----------|----------|--------|
|                                | Pb       | C      | Si       | Mn      | P        | S      | Cu       | Mo       | Al     |
| 1                              | 67,0     | > 2,00 | 0,413    | 1,55    | 0,0211   | 0,0063 | 10,3     | 0,0043   | 0,36   |
| 2                              | 67,7     | > 2,00 | 0,404    | 1,56    | 0,0216   | 0,0035 | 10,2     | 0,0057   | 0,45   |
| Ave                            | 67,4     | > 2,00 | 0,409    | 1,55    | 0,0213   | 0,0099 | 10,2     | 0,0060   | 0,01   |
|                                | Al       | Co     | Cr       | Fe      | TS       | V      | N        | Ph       | Sn     |
| 1                              | 0,0181   | 0,0031 | 0,0036   | 0,0077  | < 0,0010 | 0,0063 | < 0,0080 | < 0,0025 | 0,0034 |
| 2                              | 0,0185   | 0,0037 | 0,0033   | 0,0059  | 0,0097   | 0,0194 | < 0,0080 | < 0,0025 | 0,0018 |
| Ave                            | 0,0183   | 0,0034 | 0,0039   | 0,0068  | 0,0030   | 0,0218 | < 0,0080 | < 0,0025 | 0,0012 |
|                                | B        | Ca     | Se       | Si      |          |        |          |          |        |
| 1                              | < 0,0003 | 0,0003 | < 0,0035 | 0,0022  |          |        |          |          |        |
| 2                              | < 0,0003 | 0,0003 | < 0,0035 | 0,100   |          |        |          |          |        |
| Ave                            | < 0,0003 | 0,0003 | < 0,0035 | 0,0964  |          |        |          |          |        |

## Paduan 18Cr12Ni



## UNIT FOUNDRY GRESIK

### Chemical Results

Sample App. 1

Sample G

Customer:

**Plasticity**

### Matrix of Displacement

Hand Size:

Order No.:

Case No. 1

Brunner-Vassilopoulos 1

Speak to a Master Foundry-MASTER

Grade :

|     | Fe   | C      | Sr    | Mn   | P      | S      | Zr   | Mo     | Si   |
|-----|------|--------|-------|------|--------|--------|------|--------|------|
| 1   | 61.5 | > 2.00 | 0.986 | 1.74 | 0.0214 | 0.0005 | 19.8 | 0.0015 | 10.9 |
| 2   | 60.9 | < 2.00 | 0.919 | 1.97 | 0.0169 | 0.188  | 20.1 | 0.0047 | 9.17 |
| Ave | 61.2 | < 2.00 | 0.553 | 1.85 | 0.0191 | 0.137  | 19.9 | 0.0081 | 9.9  |

|    | Al     | Ca     | Co     | Hb     | Ti     | V      | W        | Zn       | Zr     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|
| 1  | 0.0076 | 0.0226 | 0.0253 | 0.0226 | 0.0054 | 0.0220 | 0.0091   | < 0.0025 | 0.0066 |
| 2  | 0.0143 | 0.0217 | 0.0179 | 0.0339 | 0.0124 | 0.0248 | < 0.0085 | < 0.0025 | 0.0014 |
| WV | 0.0108 | 0.0226 | 0.0208 | 0.0232 | 0.0098 | 0.0233 | < 0.0082 | < 0.0025 | 0.0031 |

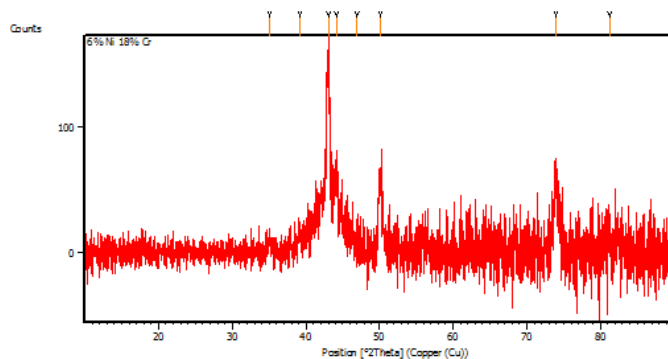
|     | B      | Ca     | Se       | H      |
|-----|--------|--------|----------|--------|
| 1   | 0.0006 | 0.0008 | < 0.0005 | 0.0020 |
| 2   | 0.0030 | 0.0007 | < 0.0005 | < 1.00 |
| Ave | 0.0013 | 0.0004 | < 0.0005 | 0.001  |



## Lampiran D:

### Hasil Pengujian XRD

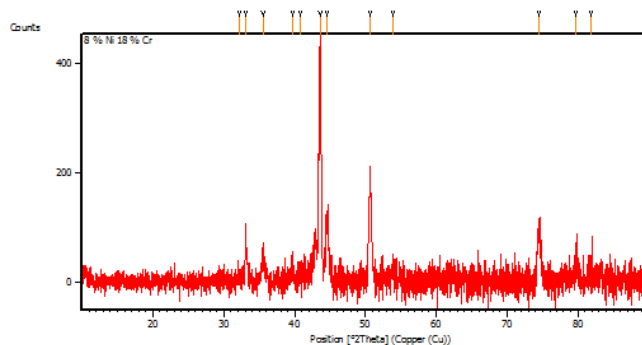
#### Paduan 18Cr6Ni



**Peak List:** (Bookmark 3)

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 35.0156      | 11.02        | 0.4015            | 2.56265       | 8.18          |
| 39.1223      | 9.33         | 0.3346            | 2.30259       | 6.92          |
| 42.9853      | 134.71       | 0.2676            | 2.10419       | 100.00        |
| 44.1140      | 48.85        | 0.2676            | 2.05294       | 36.26         |
| 47.0354      | 14.21        | 0.1673            | 1.93202       | 10.55         |
| 50.1745      | 54.20        | 0.4684            | 1.81826       | 40.24         |
| 73.9208      | 58.00        | 0.3346            | 1.28220       | 43.05         |
| 81.2015      | 11.36        | 0.3346            | 1.18463       | 8.43          |

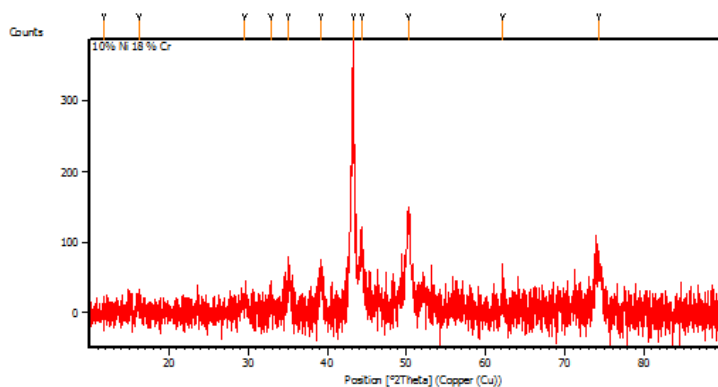
## Paduan 18Cr8Ni



**Peak List:** (Bookmark 3)

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 32.1129      | 10.82        | 0.4015            | 2.78735       | 2.41          |
| 33.0720      | 77.12        | 0.1338            | 2.70868       | 17.17         |
| 35.5363      | 61.45        | 0.1338            | 2.52629       | 13.68         |
| 39.6335      | 27.79        | 0.4015            | 2.27406       | 6.19          |
| 40.6901      | 27.64        | 0.1673            | 2.21742       | 6.15          |
| 43.5873      | 449.25       | 0.0612            | 2.07479       | 100.00        |
| 44.5847      | 103.47       | 0.3346            | 2.03235       | 23.03         |
| 50.7027      | 199.54       | 0.2007            | 1.80055       | 44.42         |
| 53.9626      | 20.51        | 0.4015            | 1.69922       | 4.57          |
| 74.5284      | 102.29       | 0.4015            | 1.27324       | 22.77         |
| 79.7437      | 25.52        | 0.5353            | 1.20257       | 5.68          |
| 81.8699      | 14.74        | 0.3346            | 1.17664       | 3.28          |

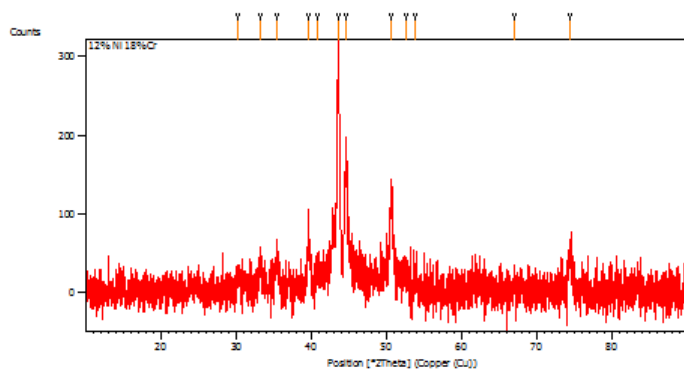
## Paduan 18Cr10Ni



**Peak List:** (Bookmark 3)

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 11.7593      | 23.58        | 0.0669            | 7.52583       | 6.61          |
| 16.1335      | 13.91        | 0.4015            | 5.49388       | 3.90          |
| 29.5708      | 13.19        | 0.8029            | 3.02092       | 3.70          |
| 32.8061      | 23.55        | 0.2342            | 2.73002       | 6.60          |
| 35.0771      | 79.22        | 0.1673            | 2.55830       | 22.21         |
| 39.1698      | 57.25        | 0.4015            | 2.29991       | 16.05         |
| 43.2384      | 356.74       | 0.3346            | 2.09246       | 100.00        |
| 44.2741      | 86.34        | 0.4684            | 2.04588       | 24.20         |
| 50.2900      | 112.37       | 0.4015            | 1.81435       | 31.50         |
| 62.1985      | 26.05        | 0.4015            | 1.49255       | 7.30          |
| 74.3046      | 66.15        | 0.4015            | 1.27652       | 18.54         |

## Paduan 18Cr12Ni



**Peak List:** (Bookmark 3)

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 30.2052      | 19.06        | 0.4015            | 2.95891       | 6.57          |
| 33.1390      | 40.87        | 0.2676            | 2.70335       | 14.09         |
| 35.4445      | 41.60        | 0.4015            | 2.53262       | 14.34         |
| 39.5921      | 62.56        | 0.1673            | 2.27635       | 21.57         |
| 40.8558      | 20.58        | 0.4015            | 2.20881       | 7.10          |
| 43.5425      | 290.05       | 0.2007            | 2.07855       | 100.00        |
| 44.6075      | 142.59       | 0.3346            | 2.03136       | 49.16         |
| 50.7208      | 111.80       | 0.1338            | 1.79995       | 38.55         |
| 52.6874      | 23.67        | 0.5353            | 1.73730       | 8.16          |
| 53.9096      | 35.94        | 0.2676            | 1.70077       | 12.39         |
| 67.0099      | 18.77        | 0.1673            | 1.39660       | 6.47          |
| 74.5226      | 48.57        | 0.6691            | 1.27333       | 16.75         |

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ainun Zulfikar. Anak pertama dari empat bersaudara ini lahir di Sidoarjo, 07 Maret 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Jemurwonosari I/417 Surabaya (1999-2005), SMPN 1 Surabaya (2005-2008), SMAN 16 Surabaya (2008-2011) dan diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

FTI-ITS melalui program SNMPTN Tulis dan terdaftar dengan NRP 2711 100 073.

Penulis aktif sebagai staf Hubungan Luar HMMT FTI-ITS 2012/2013 serta menjadi Kepala Departemen Hubungan Luar HMMT FTI-ITS periode 2012/2013. Penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan tingkat institut

Dengan perjuangan usaha dan doa, akhirnya penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Nikel (Ni) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni Dengan Metode Pengecoran”, dan mengantarkan penulis lulus dari ITS dengan gelar Sarjana Teknik.

**Ainun Zulfikar**

[ainunyl@gmail.com](mailto:ainunyl@gmail.com)

+62-857-3010-9779